

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»**

**Л.А. Беляева, О.В. Корытко**

**БИОХИМИЯ  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

*для студентов I курса  
специальности 1-03 02 01 – «Физическая культура»*

**В 2 ЧАСТЯХ  
ЧАСТЬ 1**

**Гомель 2008**

УДК 577.1 (075.8)  
ББК 28.072 я 73  
Б 447

**Рецензенты:**

А.С. Неверов, доцент, доктор технических наук;  
Н.И. Дроздова, доцент, кандидат химических наук

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

**Беляева, Л.А.**

Б 447 Биохимия [Текст]: учебно-методический комплекс для студентов 1 курса специальности 1- 03 02 01 «Физическая культура» : в 2 ч. Ч. 1 / Л.А. Беляева, О.В. Корытко; М-во образования РБ, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины.- Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2008. - 131с.

ISBN 978-985-439-294-3

В учебно-методический комплекс по биохимии включены материалы по статической биохимии: учебная программа курса, тексты лекций, тематика лабораторно-практических занятий, тестовые задания, а также рекомендуемая литература.

Учебно-методический комплекс адресован студентам 1 курса специальности 1- 03 02 01 «Физическая культура».

УДК 577.1 (075.8)  
ББК 28.072 я 73

ISBN 978-9850439-294-3

© Беляева Л.А., Корытко О.В., 2008  
© УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Учебная программа курса .....	5
Тема 1 Химический состав организма .....	12
Тема 2 Белки .....	23
Тема 3 Углеводы .....	45
Тема 4 Липиды .....	57
Тема 5 Ферменты .....	69
Тема 6 Витамины .....	82
Тема 7 Гормоны .....	109
Литература .....	131

## Введение

Биологическая химия – наука о структуре химических веществ, входящих в состав живой материи, их превращении и физико-химических процессах, лежащих в основе жизнедеятельности. Биохимия является частью биологии, охватывает те её области, которые требуют для изучения процессов жизнедеятельности физико-химических и химических подходов, приёмов и методов. Особенность биохимии вытекает из её названия, которое указывает на химическую сущность этой науки, а также на значимость для неё функциональных (биологических) исследований химических процессов.

Студенты факультета физической культуры изучают биохимию на первом курсе, поэтому основной задачей данного курса является доступность изложения вузовской программы по биохимии, наглядность, лаконичность.

Первая часть учебно-методического комплекса по биохимии составлена в соответствии с учебной программой и является основным руководством для лабораторно-практических занятий. Эта часть комплекса посвящена вопросам статической биохимии, раскрывающим строение и функции различных классов биохимических веществ в организме человека. Подробно изложены методики выполнения лабораторных работ по шести темам и уделяется внимание технике проведения химического эксперимента.

Для лучшего усвоения биохимических знаний после каждой темы приводятся контрольно-проверочные вопросы, а также тестовые задания для самопроверки, что помогает закреплять материал, повышает интерес студентов к изучению курса химии.

## **УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА КУРСА**

**(в соответствии с требованиями общеобразовательного стандарта  
(руководящего документа Республики Беларусь РД РБ 02100.5.220-98))**

### **ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**Специальность 1- 03 02 01 «Физическая культура»**

### **ДИСЦИПЛИНА «БИОХИМИЯ»**

Биохимия как наука. Роль биохимии в спорте. Химический состав организма человека. Понятие об обмене веществ и энергии в организме. Основные свойства внутренней среды организма Ферменты. Биологическая роль. Классификация. Строение молекул. Механизм действия, специфические свойства. Гормоны. Биологическая роль. Классификация. Характеристика отдельных гормонов. Понятие о механизме действия. Биоэнергетика Биологическая роль энергетических процессов. Макроэргические вещества. Понятие о биологическом окислении в организме. Биохимические механизмы биологического окисления в митохондриях Обмен углеводов. Биологическая роль. Классификация. Превращения в органах пищеварения. Обмен в тканях Регуляция углеводного обмена Обмен липидов. Биологическая роль. Классификация. Превращения в органах пищеварения. Обмен в тканях Регуляция обмена липидов. Взаимосвязь обмена липидов и углеводов. Обмен белков. Биологическая роль. Классификация. Превращения в органах пищеварения. Превращения белков и аминокислот в тканях Роль нуклеиновых кислот в синтезе белков. Регуляция обмена белков. Взаимосвязь с обменом углеводов и липидов. Биохимия мышечной ткани. Биологическая роль и особенности строения мышечных волокон Химический состав скелетных мышц. Химизм сокращения мышц. Энергетика мышечной деятельности. Роль АТФ при мышечной деятельности. Основные показатели кинетики биохимических процессов ресинтеза АТФ. Креатинфосфатный, гликолитический и аэробный ресинтез АТФ. Миокиназная реак-

ция. Их роль при спортивной деятельности. Динамика энергетических процессов при мышечной деятельности. Основные параметры кислородного обеспечения организма.

Биохимические изменения в организме при выполнении упражнений различной длительности и мощности. Биохимические изменения в организме при утомлении и в период отдыха. Биохимическая характеристика состояния утомления. Особенности восстановительных процессов. Биохимическая характеристика скоростно-силовых качеств и выносливости спортсмена. Понятия о качествах силы, быстроты, выносливости и их взаимосвязи. Биохимическое обоснование методики тренировки для развития физических качеств. Биохимический контроль в спорте. Цель, задачи, особенности организации и проведения. Виды биохимических тренировочных эффектов. Диагностика состояния по основным биохимическим показателям крови. Понятие об антидопинговом контроле. Биохимические изменения в организме при занятиях различными видами спорта. Особенности биохимических изменений в организме при выполнении циклических, ациклических упражнений и нагрузок переменной мощности. Биохимическая характеристика отдельных видов спорта. Биохимические особенности занятий физическими упражнениями с лицами разного возраста. Биохимическая характеристика растущего организма. Биохимическое обоснование занятий физическими упражнениями в детском и юношеском возрасте. Биохимическая характеристика стареющего организма. Биохимическое обоснование занятий физическими упражнениями с лицами пожилого возраста.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ЗНАНИЯМ И УМЕНИЯМ**

*Специалист должен иметь представление:*

- о современных достижениях естественных наук;
- об основных этапах и направлениях развития медико-биологиче-

ских наук,

- о биохимических методах исследования;
- о возможности фундаментального применения законов химии и биологии для объяснения поведения сложных биологических объектов;
- о химическом составе живого организма, химических реакциях обмена веществ и законах, по которым они протекают.

***Специалист должен знать и уметь использовать:***

- закономерности развития структуры и функций систем организма в целом;
- возрастные закономерности структурно-функциональных систем организма;
- факторы, определяющие и лимитирующие высокую работоспособность.

***Специалист должен иметь навыки:***

- определения и оценки функционального состояния организма.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Раздел 1 Химический состав организма человека**

#### **Тема 1 Введение в биохимию**

Роль биохимии в спорте. Химический состав организма, свойства молекул, участвующих в биохимических процессах. Роль воды в живых организмах, основные свойства внутренней среды

#### **Тема 2 Аминокислоты и белки**

Понятие об аминокислотах и белках. Классификация белков. Характеристика отдельных групп простых и сложных белков. Физико-химические свойства аминокислот и белков. Структура белковых молекул. Биологическая роль белков.

#### **Тема 3 Углеводы% %**

Понятие об углеводах. Классификация углеводов. Важнейшие пред-

ставители моно-, олиго-, полисахаридов. Биологическая роль гетерополисахаридов: гепарина, гиалуроновой кислоты, хондроитинсульфатов. Химические свойства углеводов.

#### **Тема 4 Липиды**

Понятие о липидах. Биологическая роль липидов. Классификация. Строение и свойства нейтральных жиров. Стерины. Строение и свойства холестерина. Участие фосфо- и гликолипидов в биологических процессах.

#### **Тема 5 Ферменты**

Понятие о ферментах. Строение молекул. Роль активного и аллостерического центров. Механизм действия ферментов. Виды специфичности. Свойства ферментов. Активаторы и ингибиторы ферментов. Классификация и номенклатура ферментов.

#### **Тема 6 Витамины**

Классификация витаминов. Понятие о гипо-, гипер- и авитаминозах. Характеристика отдельных представителей водорастворимых (группа В, С, Р) и жирорастворимых (А, D, E, F, K) витаминов. Их биологическая роль. Связь витаминов с ферментами.

#### **Тема 7 Гормоны**

Нейроэндокринная регуляция обмена веществ. Понятие о гормонах. Классификация. Характеристика отдельных представителей пептидных (инсулин, глюкагон, гормоны гипофиза и др.) и стероидных (половых и коры надпочечников) гормонов. Катехоламины. Понятие о механизме действия.

### **Раздел 2 Обмен веществ и энергии в организме**

#### **Тема 1 Понятие об обмене веществ и энергии**

Биоэнергетика. Биологическая роль энергетических процессов. Роль макроэргических соединений в обмене веществ. Понятие о биологиче-



ском окислении. Биологические механизмы окисления в митохондриях. Дыхательная цепь митохондрий.

## **Тема 2 Обмен углеводов**

Превращения углеводов в органах пищеварения и тканях. Роль анаэробного и аэробного путей распада углеводов. Общая характеристика пентозофосфатного пути распада углеводов. Биосинтез углеводов. Интеграция путей обмена углеводов в организме. Регуляция углеводного обмена

## **Тема 3 Обмен липидов**

Превращения липидов в органах пищеварения и обмен в тканях Катаболизм липидов: обмен глицерина, окисление жирных кислот с четным и нечетным числом атомов углерода, образование кетоновых тел. Биосинтез липидов. Регуляция обмена липидов.

## **Тема 4 Обмен белков**

Превращения белков в органах пищеварения и обмен в тканях, регуляция обмена. Пути метаболизма аминокислот. Пути связывания аммиака в организме. Орнитиновый цикл образования мочевины Интеграция обменов углеводов, липидов, белков.

## **Тема 5 Биосинтез белка**

Понятие о нуклеиновых кислотах. Структурные компоненты нуклеиновых кислот. Строение молекул ДНК и РНК. Их роль в синтезе белка. Свойства генетического кода. Характеристика отдельных этапов синтеза белка.

# **Раздел 3 Биохимия мышечной ткани**

## **Тема 1 Химический состав мышечной ткани.**

### **Мышечное сокращение**

Биологическая роль и особенности строения мышечных волокон. Химический состав скелетных мышц. Химизм сокращения мышц.

## **Тема 2 Энергетика мышечной деятельности**

Энергетика мышечной деятельности. Роль АТФ при мышечной деятельности. Основные показатели кинетики биохимических процессов ресинтеза АТФ. Креатинфосфатный, гликолитический и аэробный ресинтез АТФ. Миокиназная реакция. Динамика биохимических процессов при мышечной деятельности. Динамика энергетических процессов. Основные параметры кислородного обеспечения организма. Биохимическая характеристика зон относительной мощности работы.

## **Раздел 4 Биохимия физических упражнений и спорта**

### **Тема 1 Динамика биохимических процессов в организме при мышечной деятельности**

Биохимическая адаптация организма к мышечной деятельности. Динамика энергетических процессов. Потребление кислорода при мышечной деятельности. Диагностика состояния по основным биохимическим показателям крови. Биохимические изменения в организме при выполнении упражнений различной длительности и мощности.

### **Тема 2 Биохимические изменения в организме при утомлении и в период отдыха**

Биохимические изменения в организме при утомлении и в период отдыха. Биохимическая характеристика состояния утомления. Особенности восстановительных процессов. Суперкомпенсация и ее роль при тренировке. Гетерохронизм восстановительных процессов.

### **Тема 3 Биохимические основы и принципы спортивной тренировки**

Биохимическая характеристика скоростно-силовых качеств и выносливости спортсмена. Понятия о качествах силы, быстроты выносливости и их взаимосвязи. Биохимическое обоснование методик тренировки для развития физических качеств.

#### **Тема 4 Закономерности биохимической адаптации в процессе спортивной тренировки**

Физические нагрузки, адаптация, тренировочный эффект. Биологические принципы тренировки. Биохимические изменения в организме при занятиях различными видами спорта. Особенности биохимических изменений в организме при выполнении циклических, ациклических упражнений и нагрузок переменной мощности. Биохимическая характеристика отдельных видов спорта.

#### **Тема 5 Биохимические особенности занятий с лицами разного возраста**

Биохимические особенности занятий физическими упражнениями с лицами разного возраста. Биохимическая характеристика растущего организма. Биохимическое обоснование занятий физическими упражнениями в детском и юношеском возрасте. Биохимическая характеристика стареющего организма. Биохимическое обоснование занятий физическими упражнениями с лицами пожилого возраста.

# Тема 1 Химический состав организма

## 1.1 Химический состав организма

## 1.2 Строение и свойства основных классов соединений, участвующих в биологических процессах

### 1.1 Химический состав организма

Количество живой материи на нашей планете оценивается огромной величиной –  $10^{13}$ – $10^{14}$  т. Живые тела чрезвычайно разнообразны по химическому составу. Благодаря высокочувствительным методам исследования в животных и растительных тканях обнаружено около 60 химических элементов. Часть из них – азот, водород, кислород – присутствуют в организме в относительно больших количествах и являются структурным материалом для построения белков, жиров, углеводов и ряда других биологически активных веществ. Кроме того, довольно высоким в живых тканях является содержание Na, K, Ca, Mg, P, S, Cl и других элементов. Все они носят название макроэлементов. Те же элементы, которые присутствуют в небольших количествах, называют микроэлементами. К ним относят Fe, I, Zn, Cu, Mo, Mn и другие. В состав живого организма входят и радиоактивные элементы – рубидий, уран, радий. Все химические элементы находятся в организме в виде органических и неорганических соединений различной степени сложности. Некоторые элементы концентрируются преимущественно в определённых тканях. Например: Fe – в крови человека и высших животных, I – в щитовидной железе, Cu – в печени, F, Ca – в костной и зубной тканях.

Химия живого мира – это химия соединений углерода. Углерод – лёгкий элемент, в периодической системе элементов занимает центральное положение. Это позволяет ему образовывать соединения как с электроотрицательными элементами – O, N, Cl, P и S, так и с электро-

положительными – водородом. Внимания заслуживает двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), которая равномерно распределена между газовым и водным раствором и способна обратно гидратироваться с образованием слабой угольной кислоты:



Это и сделало двуокись углерода источником углерода, из которого строится всё живое на Земле.

Атомы углерода могут соединяться друг с другом, образуя длинные неразветвлённые и разветвлённые, незамкнутые и замкнутые в кольца цепи.

В зависимости от характера цепи все органические соединения можно разделить на две группы: ациклические (с незамкнутой углеродной цепью) и циклические (с замкнутой углеродной цепью). Ациклические подразделяются на неразветвлённые и разветвлённые, циклические – на гомоциклические (в кольце только углеродные атомы) и гетероциклические (в кольце кроме углеродных имеются другие атомы).

Живой организм состоит из 70-75% воды и 25-30% сухого остатка. Сухой остаток содержит 20% органических веществ и 10% минеральных. Последние в организме представлены в виде различных ионов: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Органические вещества – это белки, нуклеиновые кислоты, липиды (жиры и жироподобные вещества), углеводы, биологически активные вещества (витамины, гормоны, биостимуляторы роста, коэнзимы и др.), различные метаболиты.

Метаболиты – вещества, возникающие в клетках в качестве промежуточных продуктов при химических реакциях. К ним относятся кислоты, аминокислоты, эфиры, спирты, амины и др. соединения.

По функциональным группам органические вещества разделяются на множество классов, из которых наиболее распространёнными являются следующие (таблица 1):

Таблица 1 – Основные классы неорганических соединений

Название класса	Общая формула	Функциональная группа
Углеводороды	$R - H$	–
Спирты	$R - OH$	$-OH$ (гидроксильная)
Альдегиды	$\begin{array}{c} R - C = O \\   \\ H \end{array}$	$-C = O$ $ $ $H$ (альдегидная)
Кетоны	$\begin{array}{c} R - C = O \\   \\ R_1 \end{array}$	$-C -$ $\parallel$ $O$ (кетонная)
Карбоновые кислоты	$\begin{array}{c} R - C = O \\   \\ OH \end{array}$	$-C = O$ $ $ $OH$ (карбоксильная)
Амины	$R - NH_2$	$-NH_2$ (аминная)
Амиды	$\begin{array}{c} R - C - NH - R_1 \\ \parallel \\ O \end{array}$	$-C - NH -$ $\parallel$ $O$ (амидная)
Тиоспирты	$R - SH$	$-SH$ (тиогруппа)
Простые эфиры	$R - O - R_1$	$- \quad O \quad -$ (простая эфирная связь)
Сложные эфиры	$\begin{array}{c} R - C - O - R_1 \\ \parallel \\ O \end{array}$	$-C - O -$ $\parallel$ $O$ (сложная эфирная связь)
Альдегидоспирты	$\begin{array}{c} HO - R - C = O \\   \\ H \end{array}$	$-OH$ и $-C = O$ $ $ $H$
Кетоноспирты	$\begin{array}{c} HO - R - C = O \\   \\ R_1 \end{array}$	$-OH$ и $-C -$ $\parallel$ $O$

Окончание таблицы 1

Название класса	Общая формула	Функциональная группа
Спиртокислоты (оксикислоты)	$\text{HO} - \text{R} - \underset{\text{HO}}{\underset{ }{\text{C}}} = \text{O}$	$-\text{OH} \text{ и } -\underset{\text{HO}}{\underset{ }{\text{C}}} = \text{O}$
Кетокислоты	$\text{R} - \underset{\text{COOH}}{\underset{ }{\text{C}}} = \text{O}$	$-\underset{\text{HO}}{\underset{  }{\text{C}}} - \text{ и } -\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}} = \text{O}$
Аминоспирты	$\text{HO} - \text{R} - \text{NH}_2$	$-\text{OH} \text{ и } -\text{NH}_2$
Аминокислоты	$\text{NH}_2 - \text{R} - \text{COOH}$	$-\text{NH}_2 \text{ и } -\underset{\text{OH}}{\underset{ }{\text{C}}} = \text{O}$

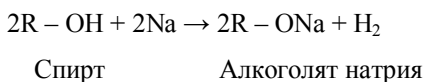
Свойства соединений зависят от присутствия в них тех или иных функциональных групп. Соединения с несколькими функциональными группами служат «кирпичиками», из которых построены высокомолекулярные соединения в организме. Например, строительным материалом для молекул белков являются аминокислоты. Углеводы признаются производными альдегида- и кетоспиртов. Молекулы жиров образованы многоатомным спиртом – глицерином и высокомолекулярными жирными кислотами.

Для понимания особенностей протекания реакций в организме человека, нужно знать основные химические свойства наиболее часто встречающихся классов органических соединений.

## 1.2 Структура и свойства основных классов соединений, участвующих в биологических процессах

### 1.2.1 Свойства соединений с гидроксильной группой – OH

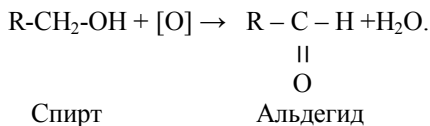
1 Алкоголяты образуются при взаимодействии одноатомных спиртов с активными металлами или многоатомных спиртов с гидроксидами металлов:



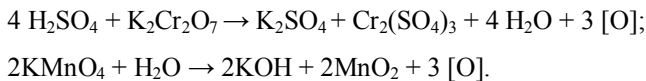
2 Образование простых и сложных эфиров:



3 Окисление спиртов происходит при нагревании их с растворами сильных окислителей ( $K_2Cr_2O_7$ ,  $KMnO_4$ ):

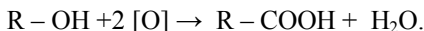


Распад хромовой смеси и марганцовокислого калия с выделением атомарного кислорода протекает по уравнению:





Раствор марганцовокислого калия производит более глубокое окисление спирта в карбоновую кислоту:



Спирт  
кислота

Карбоновая

При окислении вторичные спирты образуют кетоны. Третичные спирты окисляются с трудом.

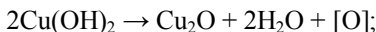
### 1.2.2 Свойства соединений с карбонильной группой $\begin{array}{c} -C- \\ || \\ O \end{array}$

Эта группа характерна для альдегидов  $H - C - CH_3$  и кетонов  $H_3C - C - CH_3$ .

$\begin{array}{c} || \\ O \end{array}$

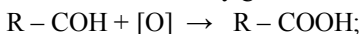
$\begin{array}{c} || \\ O \end{array}$

Альдегиды окисляются слабыми окислителями: аммиачным раствором оксида серебра, гидроксидом меди (II), кетоны – только сильными (раствором  $KMnO_4$ )



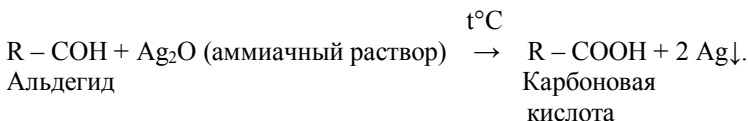
Гидроксид меди (II)      Оксид меди (I)

$t^\circ C$



Альдегид

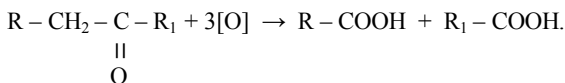
Карбоновая  
кислота



Альдегид

Карбоновая  
кислота

При окислении кетонов происходит разрыв цепи углеродных атомов и образуется смесь карбоновых кислот:



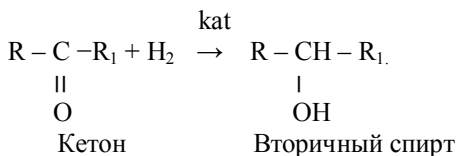
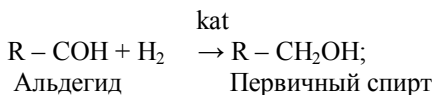
Кетон

Карбоновая  
кислота

Карбоновая  
кислота

Восстановление альдегидов и кетонов осуществляется присоедине-

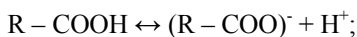
нием водорода, из альдегидов получают первичные спирты, из кетон – вторичные:



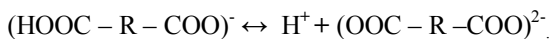
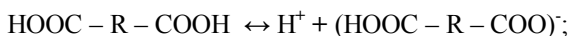
### 1.2.3 Свойства соединений с карбоксильной группой – $\begin{array}{c} \text{C} - \text{OH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$

1 Диссоциация в водных растворах, причём многоосновные кислоты диссоциируют ступенчато:

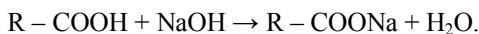
а) диссоциация одноосновных кислот:



б) диссоциация многоосновных кислот

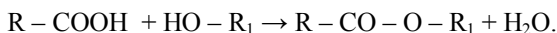


2 Образование солей при взаимодействии с металлами, оксидами и гидроксидами металлов:



Карбоновая	Натриевая соль
кислота	карбоновой кислоты

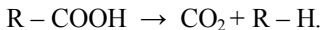
3 Образование сложных эфиров при взаимодействии со спиртами



Карбоновая	Спирт	Сложный эфир
кислота		

4 Декарбоксилирование карбоновой кислоты происходит путём

выделения  $\text{CO}_2$  из карбоксильной группы:



Карбоновая  
кислота

#### 1.2.4 Свойства соединений с аминогруппой $-\text{NH}_2$

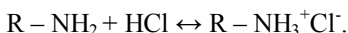
Амины обладают свойствами органических оснований. Все соединения с этой группой атомов по свойствам похожи на аммиак.

1 Взаимодействие с водой с образованием соединений щелочного характера:



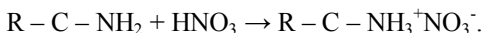
Амин

2 При взаимодействии с кислотами образуются соли:



Амин

3 Для амидов также, как и для аминов, характерны слабые основные свойства, проявляющиеся в образовании солей:



Амид



Азотнокислая соль амида

#### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Каков элементный состав организмов?
- 2 Каков молекулярный и ионный состав организма человека?
- 3 Приведите классификацию органических соединений?
- 4 Напишите структурные формулы органических соединений, относящихся к разным классам органических соединений?
- 5 Каковы особенности химических свойств соединений с разными функциональными группами?

# Лабораторная работа

## Характерные реакции органических соединений с различными функциональными группами

**Цель:** Изучить характерные реакции органических соединений с различными функциональными группами

**Оборудование и реактивы:** Хромовая смесь; этиловый спирт; формальдегид (разбавленный раствор); гидроксид калия (10 %-ный раствор); ацетон; сернистая медь (3 %-ная); уксусная кислота концентрированная; серная кислота концентрированная; хлорид натрия, насыщенный раствор; марганцовокислый калий (1 %-ный раствор); мочеви́на (20 %-ный раствор); щавелевая кислота, насыщенный раствор; гидроксид бария, насыщенный раствор; молочная кислота (1 %-ный раствор).

## Ход работы

### Опыт 1 Окисление спирта хромовой смесью

Мерным цилиндром налейте в пробирку ёмкостью 25 мл 0,5 мл хромовой смеси. Пипеткой добавьте 3–4 капли этилового спирта, нагрейте смесь на водяной бане до кипения. Как только оранжевая окраска изменится на синевато-зеленоватую, выньте пробирку из водяной бани и по запаху определите, какой органический продукт образовался. В случае образования альдегида раствор имеет характерный запах, напоминающий запах прелых яблок. При окислении спирта в кислоту в растворе ощутим запах уксуса. Напишите уравнения реакций: а) разложение хромовой смеси; б) окисление спирта атомарным кислородом.

### Опыт 2 Окисление альдегида слабым окислителем

Мерным цилиндром налейте в пробирку ёмкостью 25 мл 2–3 мл разбавленного формальдегида, прибавьте равный объем 10 %-ного КОН и по каплям добавляйте 3 %-ный раствор сернистой меди до образо-

вания не исчезающей при встряхивании голубоватой мути. Нагрейте смесь до кипения на водяной бане и продолжайте кипятить до появления оранжевой окраски реакционной смеси. Повторите опыт, заменив раствор формальдегида ацетоном. Убедитесь, что кетоны слабыми окислителями не являются.

Напишите уравнения реакций: а) взаимодействия сернокислой меди и щелочи; б) разложения гидроксида меди с выделением атомарного кислорода; в) окисления альдегида атомарным кислородом.

### **Опыт 3 Получение сложного эфира**

Мерным цилиндром в пробирку ёмкостью 25 мл налейте 0,5 мл этилового спирта и 0,5 мл концентрированной уксусной кислоты, добавьте (осторожно!) 1 мл концентрированной серной кислоты. Нагрейте пробирку в кипящей водяной бане в течение 1–2 минут.

В химический стакан ёмкостью 50 мл налейте 10 мл насыщенного раствора хлорида натрия и вылейте в него содержимое первой пробирки, предварительно охладив смесь. Наблюдайте появление слоя эфира на поверхности смеси.

Объясните происходящее явление. Напишите уравнения реакций: а) этилового спирта с серной кислотой; б) кислого серноэтилового эфира с уксусной кислотой.

### **Опыт 4 Окисление оксикислоты раствором марганцовокислого калия**

Мерным цилиндром налейте в пробирку ёмкостью 25 мл 1 %-ного раствора марганцовокислого калия, добавьте 5–6 капель 1 %-ного раствора молочной кислоты, встряхните содержимое пробирки. Наблюдайте обесцвечивание раствора вследствие восстановления семивалентного марганца в двухвалентный. Для сравнения в другой пробирке проделайте этот же опыт, заменив молочную кислоту уксусной. Убедитесь в том, что уксусная кислота раствором марганцовокислого калия

не окисляются. Сделайте вывод, какая функциональная группа в молекуле молочной кислоты подвергается окислению, сравнив структурные формулы обеих кислот.

Напишите уравнения реакций: а) разложения марганцовокислого калия в водной среде; б) окисление молочной кислоты атомарным кислородом.

### **Опыт 5 Образование соли амида**

Мерным цилиндром в пробирку ёмкостью 25 мл налейте 20 %-ного раствора щавелевой кислоты и тщательно перемешайте. Наблюдайте выпадение осадка щавелевокислой мочевины.

Напишите уравнение реакции, учитывая, что со щавелевой кислотой реагирует только одна аминная группа мочевины.

### **Опыт 6 Гидролиз амида**

Мерным цилиндром в пробирку ёмкостью 25 мл налейте 20 %-ного раствора мочевины, прибавьте 2 мл насыщенного раствора гидроксида бария. Отверстие пробирки закройте смоченной водой фенолфталеиновой бумажкой. Нагрейте смесь на водяной бане до кипения. Наблюдайте покраснение фенолфталеиновой бумажки и выпадение осадка углекислого бария. Напишите уравнения реакций: а) гидролиза мочевины; б) образования углекислого бария при реакции гидроксида бария с одним из продуктов гидролиза; в) образования щелочи из другого продукта гидролиза и ее диссоциацию на ионы.

## Тема 2 Белки

### 2.1 Общая характеристика белков

### 2.2 Аминокислоты – структурные единицы белковой молекулы

### 2.3 Структура и свойства белковых молекул

### 2.4 Классификация белковых веществ

## 2.1 Общая характеристика белков

Из органических веществ, входящих в состав живых организмов, самыми сложными по строению и важными по своему значению являются белки. Они составляют основу протоплазмы клетки, и с ними мы встречаемся всюду, где есть место проявлению жизни. Исключительно важная роль белков отмечалась уже в прошлом столетии. В 1838 г. Мульдер предложил для них название «протеины», что в переводе с греческого означает первейшие. По внешнему виду они напоминают белок куриного яйца, поэтому их называли белки. Оба эти названия являются синонимами.

**Белки** – это высокомолекулярные азотсодержащие органические соединения, дающие коллоидные растворы и расщепляющиеся при гидролизе с образованием  $\alpha$ -аминокислот.

### Биологическая роль белков:

– пластическая – из них построены органы и ткани живых организмов;

– энергетическая – 1г белка при окислении даёт 16-17 кДж энергии. Расходуется белки очень редко – только при голодании. Белки, исполняющие структурную роль, не расходуются никогда. Их количество всегда постоянно;

– входят в состав биологически активных веществ (ферментов, гормо-

нов). Есть белки, способные сокращаться – они обеспечивают движение;

– важна роль белков в иммунитете – создают иммунную систему.

Например:  $\gamma$ -глобулин вырабатывается при определённой инфекции и защищает организм от неё;

– входя в состав нуклеопротеидов, участвуют в передаче наследственной информации, в процессе роста и размножения.

В состав белка входят: С – 50-54%;

О – 21,5-23,5%;

Н – 6,5-7,3%.

Особенность: N – 15,6-17,5%;

Рорг. – 2,0-2,5%;

S – 0,3-1,5%.

Молекулярную массу белков устанавливают различными методами: по осмотическому давлению, путем центрифугирования. Эти методы показывают, что молекулярная масса белка колеблется от десятка тысяч до миллиона и больше. Например, яичный белок альбумин имеет молекулярную массу 44 тыс., гемоглобин эритроцитов – 70 тыс., а каталаза, фермент белковой природы – 225 тыс.

## **2.2 Аминокислоты – структурные единицы белковой молекулы**

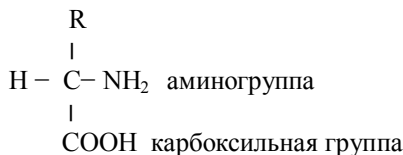
Остатки аминокислот в молекуле белка соединены между собой пептидными связями  $-\text{NH}-\text{CO}-$ . В настоящее время известно 150 различных аминокислот, и только 20 из них входят в состав животного белка. Аминокислоты можно назвать кирпичиками, из которых построен белок.

**Аминокислоты** – это производные карбоновых кислот, которые содержат одновременно аминные ( $-\text{NH}_2$ ) и карбоксильные ( $-\text{COOH}$ ) группы.

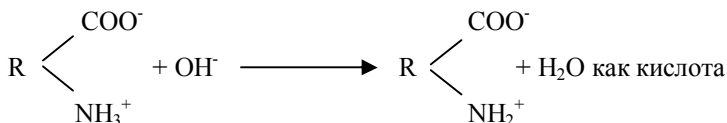
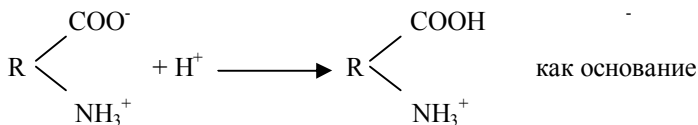


Группа  $\text{NH}_2$  в живых организмах чаще всего встречается в  $\alpha$ -положении по отношению к группе  $\text{COOH}$ .

Общая формула аминокислот следующая:



Карбоксильная группа ( $-\text{COOH}$ ) определяет кислотные свойства, а аминогруппа ( $-\text{NH}_2$ ) – основные свойства. Следовательно, аминокислоты – амфотерные электролиты, которые в зависимости от условий ведут себя или как кислоты, или как основания. Например:



Т. к. белки состоят из отдельных аминокислот, то и они являются амфотерными соединениями. Это свойство используется в белковом буфере.

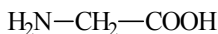
Все выделенные из белковых гидролизатов аминокислоты по своему строению можно разделить на две группы:

а) ациклические – аминокислоты жирного ряда, имеющие линейное строение;

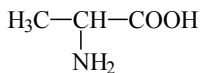
б) циклические – аминокислоты ароматического ряда, т.е. имеющие в своём строении какой-нибудь цикл (например, бензольное кольцо).

По количеству в молекулах ациклических аминокислот амино- и карбоксильных их подразделяют на четыре класса:

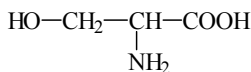
**1 Моноаминомонокарбоновые** – в молекуле каждой из них имеется одна амино- и одна карбоксигруппа. Представители:



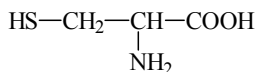
Глицин



Аланин

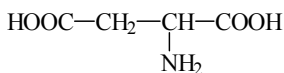


Серин

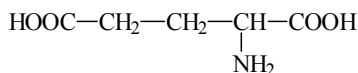


Цистеин

**2 Моноаминодикарбоновые** – содержат одну аминогруппу и две карбоксильные. Сюда относят аспарагиновую и глутаминовую кислоты.

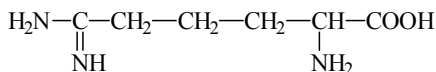


Аспарагиновая кислота

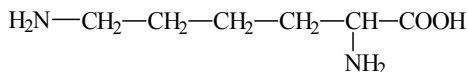


Глутаминовая кислота

**3 Диаминомонокарбоновые** – содержат две амино- и одну карбоксигруппу. Представители:

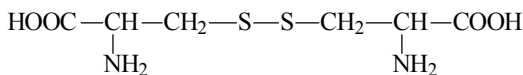


Аргинин



Лизин

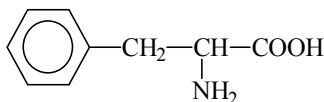
**4 Диаминодикарбоновые** – имеют две амино- и две карбоксильные группы. Сюда относится только одна аминокислота – цистин.



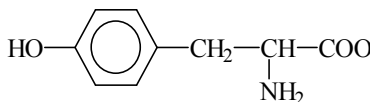
Цистин

Циклические кислоты, как упоминалось выше, имеют в своей структуре кольцо – цикл. Они подразделяются на:

а) **гомоциклические**, имеющие в замкнутом цикле только атомы углерода – фенилаланин, тирозин:

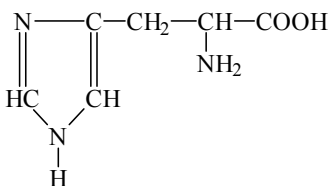


Фенилаланин

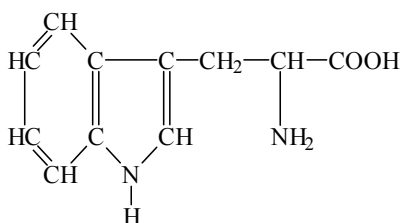


Тирозин

б) **гетероциклические**, имеющие в цикле атомы и других элементов (например, азот) – триптофан, гистидин:



Гистидин



Триптофан

По форме частиц белки разделяются на глобулярные и фибриллярные. Глобулярные белки имеют округлую форму и встречаются в сыроворотке крови, молоке, пищеварительных соках. Фибриллярные белки имеют форму тончайших нитей и присутствуют в сухожилиях, коже, мышцах, волосах и копытах. Между глобулярными и фибриллярными белками существуют различные переходные формы

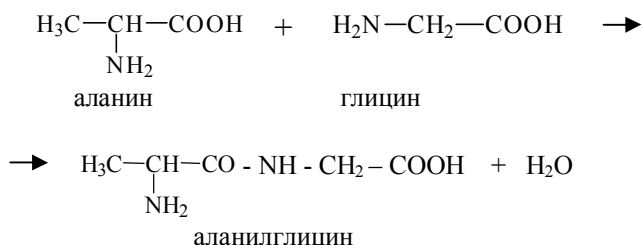
Белки способны коагулировать или денатурировать, т.е. необратимо переходить в нерастворимое состояние под действием минеральных и некоторых органических кислот, спирта, солей тяжёлых металлов. Соли лёгких металлов, например, насыщенный раствор сернокислого аммония, высаливают белки. Этот процесс обратимый.

Белки тоже дают так называемые цветные реакции, которые обусловлены наличием отдельных группировок или отдельных аминокислот

в белке (биуретовая, ксантопротеиновая, нингидриновая и др.)

## 2.3 Структура и свойства белковых молекул

Согласно общепринятой полипептидной теории строения белковых веществ, связь между отдельными аминокислотами осуществляется посредством соединения аминогруппы одной кислоты с карбоксильной группой другой. Авторами этой теории являются отечественный учёный А.Я. Данилевский и немецкий биохимик Э. Фишер. В результате взаимодействия двух кислот получаются дипептиды, трёх – трипептиды, многих аминокислот – полипептиды, соединённые между собой пептидной связью (-NH-CO-). Пептиды называются по названию образовавших их аминокислот. При этом та аминокислота, которая сохраняет свою карбоксильную группу, сохраняет и название; аминокислота, у которой карбоксильная группа разрушается, изменяет в названии окончание **-ин** на **-ил**. Например:



### Пространственная конфигурация белковых молекул.

В настоящее время различают несколько организаций, или конфигураций, в структуре белка.

*Первичная структура* обусловлена последовательностью чередования аминокислот в белке. Представляет собой полипептидную цепь простой формы, у которой пептидные связи находятся в одной плоскости.

*Вторичная структура* образуется пространственным расположением полипептидных цепей в виде спирали, свёрнутой вдоль оси.

*Третичная структура* – создаётся химическая «сшивка» участков одной или нескольких цепей.

*Четвертичная структура* возникает благодаря ассоциации нескольких макромолекул в единую комплексную единицу (ДНК).

#### **Важнейшие общие свойства белков:**

- белки, благодаря большим размерам молекул, дают в воде коллоидные растворы;
- белки, как коллоидные системы, дают эффект Тиндаля – рассеивают проходящий через них луч света и делают его видимым;
- молекулы белка не способны проникать через полупроницаемые мембраны;
- белки обладают гидрофильными свойствами – они способны связывать воду, что приводит к их набуханию и образованию гелей;
- высокие температуры вызывают необратимые изменения белковых молекул.

## **2.4 Классификация белковых веществ**

Все белковые вещества подразделяют на 2 большие группы, между которыми есть переходы – простые белки (протеины) и сложные белки (протеиды).

Простые белки при гидролизе дают только  $\alpha$ -аминокислоты. Сложные белки помимо  $\alpha$ -аминокислот при гидролизе дают ещё и вещества небелковой природы, которые называют простетической группой.

Простые белки в свою очередь подразделяются на:

- альбумины;
- глобулины;

- протамины;
- гистоны;
- проламины и глютелины;
- протеиноиды.

*Альбумины* – это наиболее распространённые в природе белки. Они хорошо растворимы в воде, но не растворяются в насыщенном растворе сернокислого аммония –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Альбумины содержат 19 из 20 известных аминокислот, среди которых много серосодержащих. Пример: плёнка, образованная при кипячении молока, есть не что иное, как альбумины. Альбумины относят к мелкодисперсным белкам. Молекулярная масса их – 35 – 70 тыс. Изоэлектрическая точка этих белков находится в пределах значений  $\text{pH}$  4,6 – 4,7. Это гомогенный (однородный) белок.

*Глобулины* встречаются вместе с белками альбуминами, не растворимы в воде, но растворимы в солевых растворах слабой концентрации, чем и пользуются для отделения их от альбуминов. Глобулины содержат от 14 до 17 аминокислот. В них много глицина. Молекулярная масса глобулинов составляет 90 – 150 тыс. Изоэлектрическая точка этих белков находится в пределах  $\text{pH}$  5,0 – 7,5. Это гетерогенный белок – состоит из 4 – 25 различных фракций, которые можно разделить на  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ - глобулины и т. д.

*Гистоны* – группа белков, в составе которых до 30 % диаминомонокарбоновых кислот – аргинина и лизина. Эти белки играют определённую роль в регуляции синтеза белков и явлений наследственности. Молекулярная масса более 150 тыс. Сюда относится белок глобин, входящий в состав сложного белка гемоглобина, отвечающего за перенос  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  в организме. Много гистонов в белках эритроцитов и зубной железе.

*Протамины* – группа белков, в составе которых до 80 % диаминомонокарбоновых кислот. У высших животных и человека в свободном виде не встречаются. Молекулярная масса протаминов от 2 до 10 тыс.

Не содержат серосодержащих аминокислот. Много протаминов в сперме и икре рыб. Они входят в состав сложных белков – нуклеопротеидов.

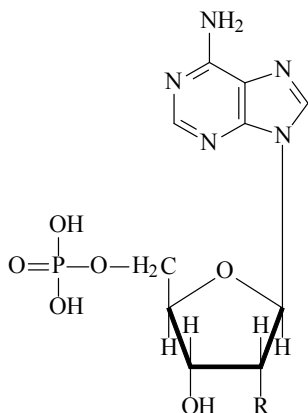
*Проламины и глютелины* – группа белков растительного происхождения. Хорошо растворимы в спирте. В них много аминокислоты пролина и полностью отсутствует лизин.

*Протеиноиды* – это группа опорных тканей (костной, хрящевой, сухожилий). Это белковоподобные вещества. Нерастворимость в воде, солевых растворах, разбавленных растворах кислот и щелочей является особенностью этой группы белков. Здесь много цистина – серосодержащей аминокислоты.

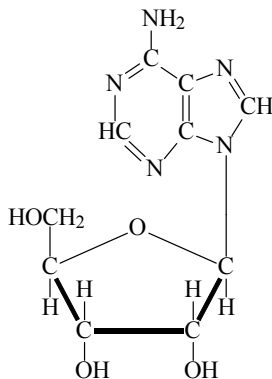
Сложные белки (протеиды) делятся на ряд подгрупп в зависимости от характера содержащихся в них небелковых компонентов:

- нуклеопротеиды;
- фосфопротеиды;
- гликопротеиды;
- липопротеиды;
- хромопротеиды

*Нуклеопротеиды* состоят из простого белка протамина, гистона, реге альбумина и глобулина, и в качестве небелкового компонента (простетической группы) имеют т. н. нуклеиновые кислоты – ДНК и РНК. Нуклеиновые кислоты (НК) относятся к высокомолекулярным соединениям. На первом этапе гидролиза нуклеиновые кислоты распадаются на ряд более простых соединений, получивших название мононуклеотидов, состоящих из азотистого основания, углевода и молекулы фосфорной кислоты. Пример мононуклеотида – адениловая кислота (аденозинмонофосфорная кислота, АМФ). Мононуклеотиды распадаются на нуклеозиды (состоящие из пуринового или пиримидинового основания и углевода) и молекулу фосфорной кислоты.



АМФ



Аденозин

При полном гидролизе НК распадаются на азотистые основания – пуриновое или пиримидиновое, пентозу (углевод – рибоза или дезоксирибоза) и фосфорную кислоту.

К пуриновым основаниям относят аденин (А) и гуанин (Г).

К пиримидиновым основаниям относят урацил (У), тимин (Т), цитозин (Ц).

По входящей в состав пентозе НК подразделяются на 2 группы: рибонуклеиновые кислоты – РНК, содержащие пентозу рибозу, и дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК), содержащие в качестве пентозы дезоксирибозу. Имеются отличия у НК и по азотистым основаниям: в составе ДНК обнаружены А, Г, Ц, Т (нет У); в составе РНК обнаружены А, Г, Ц, У (нет Т).

Существует несколько видов РНК, различающихся по молекулярному весу и функциям:

а) рибосомальная РНК с молекулярным весом 600 000 – 1 300 000. Это составная часть рибосом – органелл клетки, где происходит синтез белка;

б) транспортная РНК с молекулярным весом гораздо меньшим, чем



рибосомальная, входит в состав цитоплазмы клетки и принимает активное участие в синтезе белка;

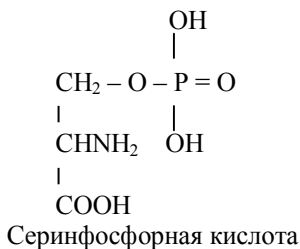
в) информационная РНК – это посредник передачи информации о строении белка.

Молекула ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепочек, спирально закрученных одна относительно другой таким образом, что углеводно-фосфатная цепь располагается снаружи, а азотистые основания – внутри. Азотистые основания разных цепочек соединяются водородными связями, образуя строго определённые пары согласно правилу комплементарности: А-Т, Г-Ц.

При новом синтезе ДНК эти спирали под действием определённых ферментов расходятся, и каждая дополняет свою половину согласно правилу комплементарности, или, говоря проще, строит новую цепочку за счёт свободных нуклеотидов с учётом расположения азотистых оснований в обеих цепочках.

*Нуклеопротеиды* – не только структурные элементы клеток (ядра, протоплазмы), но и выполняют важнейшие специфические функции: биосинтез белка, деление клеток, передачу наследственной информации.

*Фосфопротеиды* – сложные белки, состоящие из простых белков и фосфорной кислоты. В составе фосфопротеидов в значительном количестве обнаружена серинфосфорная кислота и фосфорные эфиры других оксиаминокислот:



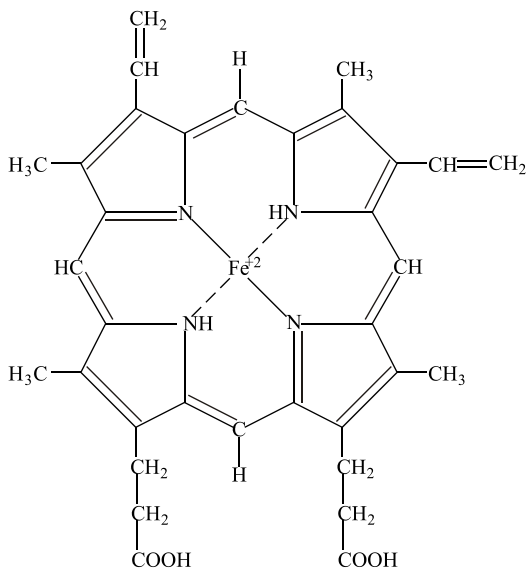
Говоря о физиологической роли фосфопротеидов, необходимо от-

метить, что в тканях они активно превращаются, интенсивно отщепляя и присоединяя к себе снова фосфорную кислоту. Это питательный материал для растущих организмов. К этой группе белков относят казеиноген молока, ововителлин – белок, выделенный из яиц.

*Гликопротеиды* – в качестве простетической группы здесь выступают углеводы: галактоза, манноза, глюкоза и др. Из гликопротеидов наиболее распространены муцин и мукоиды, входящие в состав всех тканей. Муцин содержится в составе слюны, слизистых веществ. Мукоиды находятся в большом количестве в хрящах, костях, связках и сухожилиях.

*Липопротеиды* – это комплексные соединения, т.е. сложные белки, состоящие из белков и липидов (холестеридов, фосфатидов, нейтральных жиров). В отличие от липидов, они растворимы в воде и нерастворимы в органических растворителях. Липопротеиды широко распространены в растительном и животном мире. Входят в состав клеточных мембран, биомембран ядра, митохондрий. Особенно много липопротеидов в нервной ткани, плазме крови, молоке. Наличие липопротеидов в клеточных оболочках, очевидно, связано с участием этих соединений в процессах регуляции проницаемости клеточных мембран.

*Хромопротеиды* – сложные белки, в состав которых входят окрашенные простетические группы. Сюда относятся гемоцианин, гемоглобин крови, миоглобин мышц, хлорофилл, флавиновые ферменты. Простетическая группа этих белков содержит спиральные кольца, в центре колец находятся металлы (Fe, Cu, Mg), которые и дают окрашивание. Например, гемоглобин у человека и высших животных имеет в своём составе металл – Fe, что обуславливает красный цвет крови. Гемоглобин состоит из белка глобина и простетической группы – гема. Строение гема было выяснено работами М. Ненцкого и Г. Фишера. Оно выражается следующей формулой:



Структура гема гемоглобина

Гемоцианин ракообразных и моллюсков имеет в своём составе Cu, что и обуславливает голубой цвет их крови. Эти сложные белки участвуют в связывании кислорода и доставке его к органам и тканям в одном направлении и углекислого газа в другом. Миоглобин – дыхательный пигмент мышечных клеток, обеспечивающий некоторый запас O<sub>2</sub> в тканях и органах. Хлорофилл – зелёный пигмент растений, участвующий в синтезе органических веществ.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Приведите общую характеристику белков?
- 2 Какова биологическая роль белков?
- 3 Что такое аминокислоты?
- 4 Какова структура белковой молекулы?
- 5 Охарактеризуйте свойства белков?
- 6 Приведите классификацию белковых веществ?

# Лабораторная работа

## Цветные реакции на белки

**Цель:** Изучить цветные реакции на белки

**Оборудование и реактивы:** Гликокол (аминоуксусная кислота) – (0,1 %-ный раствор); нингидрин (0,1 %-ный раствор); уксусная кислота (3 %-ный раствор); белок, раствор (3 белка куриных яиц смешивают с 600 мл 3 %-ного раствора хлористого натрия); желатин (1 %-ный раствор); гидроксид натрия (10 %-ный раствор); сульфат меди (II) (3 %-ный раствор); азотная кислота концентрированная; аммиак концентрированный; ацетат свинца (II) (0,5 %-ный раствор); гидроксид натрия, концентрированный раствор;  $\alpha$ -нафтол (0,1 %-ный раствор); гипохлорит натрия (5 %-ный раствор); соляная кислота (0,1н раствор); тирозин (0,05 %-ный раствор в 0,1 % растворе бикарбоната натрия).

## Ход работы

### Опыт 1 Нингидриновая реакция аминокислот и белков

С помощью мерного цилиндра налейте в одну пробирку 1 мл 1 %-ного раствора гликокола ( $\alpha$ -аминоуксусной кислоты), в другую – 1 мл 3 %-ного раствора уксусной кислоты. Добавьте в обе пробирки 3–4 капли 0,1 %-ного раствора нингидрина. Осторожно нагрейте. В какой пробирке появилось розовое, затем сине-фиолетовое окрашивание? Почему? Повторите опыт с равным объемом куриного белка. Реакция с нингидрином характерна для аминогрупп в  $\alpha$ -положении.

Белки, аминокислоты и полипептиды дают синее или сине-фиолетовое окрашивание с нингидрином.

### Опыт 2 Биуретовая реакция белков

Мерным цилиндром налейте в одну пробирку 2 мл раствора яичного белка, в другую – 2 мл 1 %-ного раствора желатина. В обе пробирки

добавьте по 2 мл 10 %-ного раствора едкого натра и 1–2 капли 3 %-ного раствора медного купороса. Встряхните содержимое пробирок. Наблюдайте появление характерного окрашивания раствора. О присутствии какой атомной группы в молекулах белка свидетельствует эта реакция?

### **Опыт 3 Ксантопротеиновая реакция белков**

Мерным цилиндром в пробирку налейте 2 мл раствора белка и осторожно добавьте к нему 6–8 капель концентрированной азотной кислоты. Смесь нагрейте в водяной бане до появления светло-желтой окраски. Затем охладите смесь, опустив пробирку в стакан с водой. После охлаждения добавьте 10–12 капель 30 %-ного раствора NaOH. Желтая окраска переходит в оранжевую.

### **Опыт 4 Открытие серосодержащих аминокислот в белке**

В четыре пробирки пипеткой налейте по 2 капли раствора уксуснокислого свинца и понемногу прибавляйте концентрированный раствор едкого натра до растворения образовавшегося осадка гидрата окиси свинца. В первую пробирку наливают около 1 мл раствора белка, во вторую – 1 мл желатины, в третью – 1 мл гликокола, в четвертую – 1 мл тирозина. Смесь осторожно нагревают. При положительной реакции раствор начинает темнеть. Напишите нужные уравнения реакций.

### **Опыт 5 Открытие аргинина в белке**

Налейте в пробирку 3 мл раствора белка, прибавьте 1 мл 10 %-ного раствора гидроксида натрия, 5–6 капель 0,1 %-ного раствора (спиртового)  $\alpha$ -нафтола и 5–6 капель 5 %-ного раствора гипохлорита натрия. Наблюдайте появление красной, постепенно усиливающейся окраски раствора. Объясните происходящие явления.

## **Осаждение белков**

**Цель:** Изучить способы осаждения белков

**Оборудование и реактивы:** Яичный белок, раствор (3 белка кури-

ных яиц смешивает с 600 мл 3 %-ного раствора хлористого натрия); мышечный белок; серноислый аммоний (насыщенный раствор); серноислый аммоний кристаллический; азотная кислота концентрированная; трихлоруксусная кислота (5 %-ный раствор); фенол (насыщенный раствор); формальдегид (формалин, 40 %-ный раствор); хлористый натрий кристаллический; сернокислая медь (5 %-ный раствор); уксуснокислый свинец (0,5 %-ный раствор).

## **Ход работы**

### **Опыт 1 Осаждение белка при нагревании**

В одну пробирку налейте 2 мл раствора яичного белка, в другую – столько же мышечного. Определите pH в этих растворах. Прокипятите растворы в обеих пробирках. Выпадает ли осадок в пробирках? Объясните происходящие явления.

### **Опыт 2 Высаливание белков**

В пробирку налейте 3–4 мл раствора яичного белка, добавьте равный объем насыщенного раствора сернокислого аммония. Смесь встряхните. Раствор мутнеет от выпадающего осадка белка. Профильтруйте жидкость через фильтр. Фильтрат в количестве 2 мл отлейте в пробирку и прокипятите. Наблюдайте свертывание оставшихся в фильтрате белков. Какие это белки?

К оставшемуся непрокипяченному фильтрату добавьте избыток кристаллического сернокислого аммония до прекращения его растворения. Наблюдайте появление мути или хлопьев осажденного белка. Объясните механизм высаливания белков.

### **Опыт 3 Осаждение белка органическими растворителями**

К 1 мл раствора яичного белка прилейте 2–3 мл этилового спирта или ацетона. Раствор мутнеет. Добавьте 1 каплю раствора хлористого натрия и дайте постоять. Что наблюдается?

#### **Опыт 4 Осаждение белка концентрированными минеральными кислотами**

В пробирку налейте 1 мл концентрированной азотной кислоты и, наклонив её под углом 45°, осторожно по стенке пробирки опустите из пипетки равный объем раствора белка. Что наблюдается на границе двух слоев? Вместо  $\text{HNO}_3$  можно взять концентрированную  $\text{H}_2\text{SO}_4$  или  $\text{HCl}$ .

#### **Опыт 5 Осаждение белка солями тяжелых металлов**

Налейте в 2 пробирки по 1 мл раствора яичного белка. По каплям добавляйте в одну пробирку 5 %-ный раствор  $\text{CuSO}_4$ , в другую – 0,5 %-ный раствор уксуснокислого свинца. Появляется осадок. Объясните почему?

#### **Опыт 6 Осаждение белка органическими кислотами**

К 1 мл раствора яичного белка добавьте 0,5 мл трихлоруксусной кислоты. Что образовалось?

#### **Опыт 7 Осаждение белка алкалоидными реактивами**

В три пробирки налейте по 1 мл яичного белка, в первую пробирку прилейте 0,5 мл 10 %-ного раствора пикриновой кислоты и добавьте 4–5 капель раствора 1 %-ной уксусной кислоты. Во вторую пробирку добавьте 5 – 6 капель танина и несколько капель 1 %-ной уксусной кислоты. В третью – 1 каплю 10 %-ной уксусной кислоты и 2–3 капли 5 %-ного раствора железосинеродистого калия. Что образовалось в каждой пробирке?

### **Тест**

1 Химическая природа белков:

- а) низкомолекулярные органические соединения;
- б) высокомолекулярные органические соединения;
- в) сложные неорганические соединения.

2 Аминокислоты, входящие в состав живых организмов, представляют собой преимущественно:

- а)  $\alpha$ -аминокислоты;

б) β- аминокислоты;

в) γ- аминокислоты.

3 Для обнаружения содержащегося в остатках аминокислот бензольного кольца используют:

а) нингидриновую реакцию;

б) биуретовую реакцию;

в) ксантопротеиновую реакцию;

г) реакцию с уксуснокислым свинцом.

4 Пептидная связь присутствует в формуле:

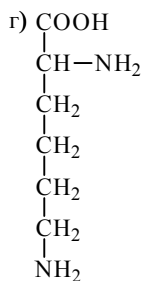
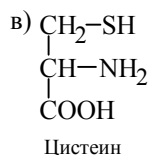
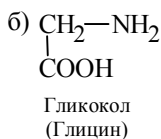
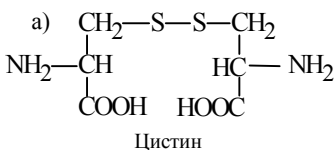
а)  $R_1 - S - S - R_2$ ;

б)  $R_1 - O - R_2$ ;

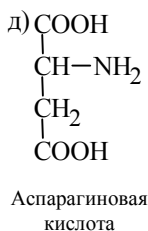
в) 
$$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad | \\ R_1 - \text{C} - \text{N} - R_2 \end{array}$$

г) 
$$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ R_1 - \text{O} - \text{C} - R_2 \end{array}$$

5 Указать среди приведенных аминокислот моноаминомонокарбоновые:



Лизин





6 Причиной возникновения вторичной структуры белковой молекулы является:

- а) наличие в белковой молекуле пространственно организованных полипептидных субъединиц;
- б) образование многократно повторяющихся пептидных связей;
- в) наличие в полипептидной цепи функциональных групп, взаимодействие между которыми приводит к пространственному упорядочению положения отдельных звеньев за счет образования водородных связей;
- г) наличие взаимодействий (преимущественно слабых связей), закрепляющих определенную пространственную укладку всей белковой молекулы и тем самым определяющих ее форму (глобулярную или фибриллярную).

7 На каком уровне организации белковой молекулы действует механизм регуляции ее биологической активности:

- а) на уровне первичной структуры;
- б) на уровне вторичной структуры;
- в) на уровне третичной структуры;
- г) на уровне четвертичной структуры;
- д) на уровне вторичной и третичной структур;
- е) на уровне третичной и четвертичной структур;

8 Какими из перечисленных физико-химических свойств обладают белки?

- а) в воде дают коллоидные растворы;
- б) не способны давать в воде коллоидные растворы;
- в) под действием органических и концентрированных неорганических кислот, солей тяжелых металлов, органических растворителей (например, ацетон) осаждаются из растворов;
- г) осаждаются в разбавленных растворах нейтральных солей;
- д) молекулы белка способны передвигаться в электрическом поле;

е) молекулы белка не способны передвигаться в электрическом поле.

9 В основу классификации простых белков положена:

а) их растворимость в воде и солевых растворах;

б) структура белковой молекулы;

в) молекулярная масса;

г) наличие в составе молекулы каких либо других соединений небелковой природы.

10 Мономерами простых белков являются:

а) нуклеиновые кислоты;

б) моносахариды;

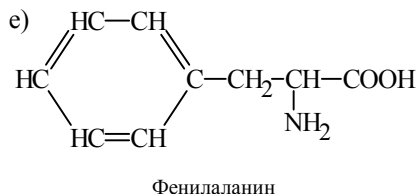
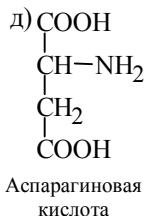
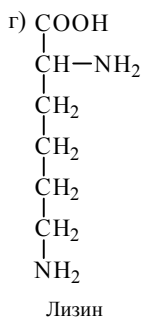
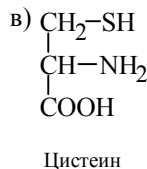
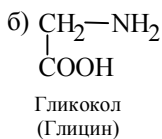
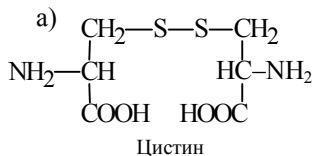
в) карбоновые кислоты;

г) жирные кислоты;

д) аминокислоты;

е) неопределённые углеводороды.

11 Указать среди приведенных аминокислот диаминомонокарбоновую:



12 Причиной возникновения первичной структуры белковой молекулы является:

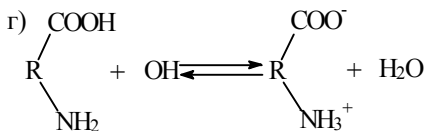
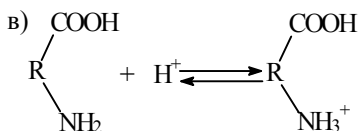
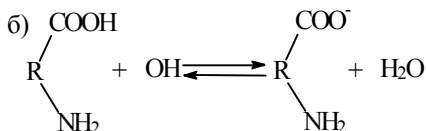
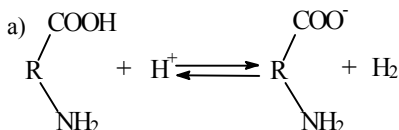
а) наличие в белковой молекуле пространственно организованных полипептидных субъединиц;

б) образование многократно повторяющихся пептидных связей;

в) наличие в полипептидной цепи функциональных групп, взаимодействие между которыми приводит к пространственному упорядочению положения отдельных звеньев за счет образования водородных связей;

г) наличие взаимодействий (преимущественно слабых связей), закрепляющих определенную пространственную укладку всей белковой молекулы и тем самым определяющих ее форму (глобулярную или фибриллярную).

13 Какая из предложенных схем диссоциации в боковых радикалах аминокислотных остатков белков в щелочной среде является правильной?



14 К протеидам относятся:

- а) простые белки;
- б) белки, состоящие из простого белка и связанного с ним другого соединения небелковой природы;
- в) белки, в состав которых входят простой белок и углеводы;
- г) растворимые в спирте белки.

15 Простетической группой хромопротеидов являются:

- а) углеводы;
- б) нуклеиновые кислоты;
- в) окрашенные соединения небелковой природы;
- г) простой белок.

16 Связывание кислорода и доставку его к органам и тканям у позвоночных животных и человека осуществляет:

- а) миоглобин;
- б) гемоцианин;
- в) гемоглобин;
- г) хлорофилл.

## Тема 3 Углеводы

### 3.1 Общая характеристика углеводов

### 3.2 Классификация углеводов

### 3.1 Общая характеристика углеводов

Углеводы – это обширная группа веществ, широко распространённых в природе. Построены углеводы из трёх химических элементов – углерода, водорода и кислорода. Первоначально формулой углеводов считалась  $C_n(H_2O)_m$ . Отсюда и название этого класса соединений. Но в последствии она не подтвердилась.

Углеводами называют большое число соединений, которые обладают различной химической структурой и биологическими функциями.

Углеводы – полигидроксикарбонильные соединения и их производные. Термин углеводы возник более 100 лет тому назад, но, даже не отвечая современным представлениям о структуре углеводов, используется и по сей день.

Содержание углеводов в растениях достигает 80-90 % на сухое вещество, а в организме человека и животных – до 2 %.

#### ***Биологические функции углеводов:***

- являются основным источником энергии, необходимой для осуществления различных физиологических функций. При полном окислении 1 г углеводов образуется 6,9 кДж энергии (4,4 ккал);

- это запасной питательный материал, который откладывается у растений в виде крахмала, у человека и животных в виде гликогена в печени и мышцах;

- в виде полисахаридов выполняют защитную и опорную функцию организма, являясь важнейшими компонентами жестких стенок растительных и бактериальных клеток и более мягких оболочек животных клеток;

- используются на синтез многих важнейших для организма веществ: нуклеиновых и жирных кислот, а из них аминокислот и белков, липидов и т. д., т. е. выполняют пластическую функцию;

- участвуют в регуляции некоторых процессов в организме. Например, клетчатка, вызывая механическое раздражение кишечника, способствует его перистальтике, т. е. сокращению;

- выполняют многие специфичные функции – входят в состав слизистых веществ, являются субстанцией группоспецифических веществ крови, исполняют роль антикоагулянтов (гепарин препятствует свертываемости крови);

- необходимы для нормального окисления жиров и белков. Так при нарушении углеводного обмена окисление жиров идет не до конца и останавливается на стадии образования промежуточных продуктов.

## 3.2 Классификация углеводов

Классификация углеводов основана на их способности гидролизаться (рисунок 1).

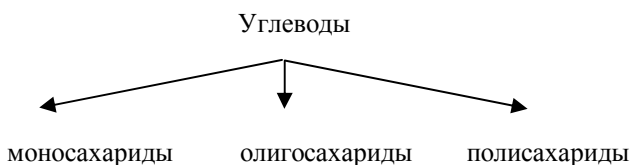


Рисунок 1 – Классификация углеводов

**Моносахариды** – простые углеводы, которые не расщепляются гидролитическим путем. По числу углеродных атомов в молекуле моносахариды подразделяются на:

- триозы (содержат три атома углерода);
- тетрозы (содержат четыре атома углерода);
- пентозы (содержат пять атомов углерода);

- гексозы (содержат шесть атомов углерода) и т. д.

Наиболее распространены в природе:

а) триозы, к которым относятся глицериновый альдегид и диоксиацетон;

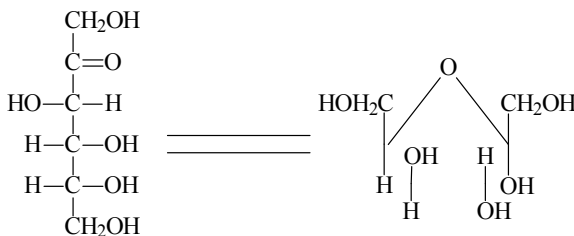
б) пентозы – это рибоза и дезоксирибоза, входящие в состав нуклеиновых кислот;

в) гексозы – представители фруктоза, глюкоза, галактоза, манноза.

По характеру функциональных групп моносахариды разделяются на альдозы (альдегидспирты) и кетозы (кетоспирты).

Остановимся подробнее на гексозах, которым принадлежит главная роль в обмене веществ. Общая формула гексоз  $C_6H_{12}O_6$ . Из них более важными в биологическом отношении являются фруктоза и глюкоза.

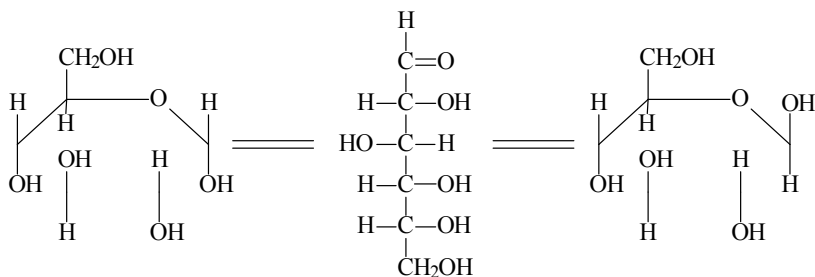
D-фруктоза (плодовый сахар) обычно встречается вместе с глюкозой. Это кетоза (кетоспирт). В свободном состоянии находится в плодах, меде, нектаре. В связанном виде входит в состав дисахарида сахарозы.



D- фруктоза

Циклическая форма фруктозы

D-глюкоза (виноградный сахар) – один из распространенных природных сахаров. Относится к альдозам (альдегидспирт). В свободном виде находится в зеленых частях растений, фруктах, ягодах, крови человека (0,08–0,12 %). В связанной форме является основой таких важнейших природных соединений, как тростниковый или свекловичный сахар, крахмал, клетчатка, гликоген и др.



$\alpha$ -D-глюкоза

D-глюкоза

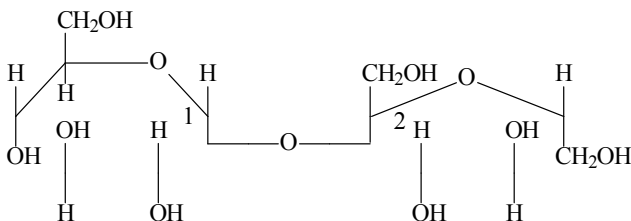
$\beta$ -D-глюкоза

**Олигосахариды** – при гидролизе образуют от 2 до 10 моносахаридов. Наиболее распространенными в природе олигосахаридами являются дисахариды. Общая их формула  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .

Дисахариды образованы двумя молекулами моносахаридов, соединенных гликозидной связью. Эта связь возникает либо между двумя гликозидными гидроксилами (тип связи 1 : 2), либо в образовании связи участвуют один гликозидный гидроксил и один спиртовой (тип связи 1 : 4).

*Сахароза* – пример первого типа связи (1 : 2). Образуется из двух моносахаридов:  $\alpha$ -D-глюкозы и  $\beta$ -D-фруктозы. Не обладает восстановительными свойствами.

Сахароза – тростниковый, свекловичный сахар – один из самых распространенных в природе и важных дисахаридов, встречается в листьях, стеблях, корнях, ягодах и фруктах.



Сахароза

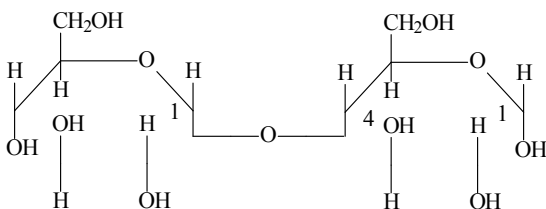
Гидролиз сахарозы, как и других дисахаридов, в организме идет ферментативным путем, в результате чего образуется раствор, содер-



жащий равное количество  $\alpha$ -D-глюкозы и  $\beta$ -D-фруктозы.

*Мальтоза* – пример второго типа связи (1 : 4). Образуется из двух остатков одного моносахарида –  $\alpha$ -D-глюкозы. Содержится в большом количестве в солоде. Сбраживается дрожжами, имеет сладкий вкус, легко усваивается организмом. Мальтоза является промежуточным продуктом распада крахмала и гликогена.

В мальтозе есть свободный полуацетальный гидроксил, вследствие чего она обладает, в отличие от сахарозы, восстановительными, редуцирующими свойствами – дает реакцию Феллинга и реакцию "серебряного зеркала".



Мальтоза

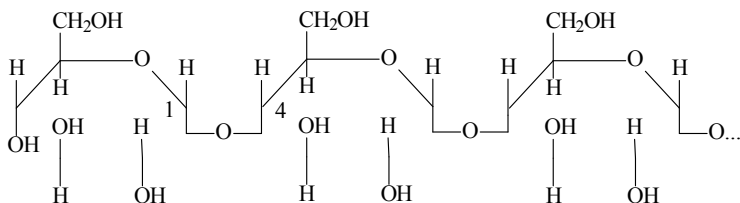
**Полисахариды** – это высокомолекулярные полимеры моносахаридов и их производных. Число моносахаридных единиц в них колеблется от десяти до нескольких тысяч. Сюда относятся крахмал, гликоген, клетчатка. Общая формула  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

Биологическая роль полисахаридов:

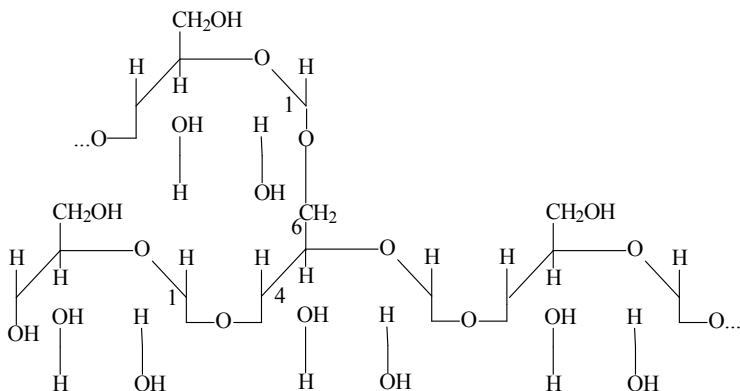
- а) резервная – крахмал, гликоген;
- б) опорная – клетчатка (также входит в состав хитина насекомых).

*Крахмал* – один из самых распространенных запасных полисахаридов растений. Он накапливается в результате фотосинтеза. Крахмал представляет собой смесь двух гомогенных однородных полисахаридов: амилозы – линейного, и амилопектина – разветвленного. Оба эти гомополисахарида построены из остатков  $\alpha$ -D-глюкозы. Амилоза составляет 10-30 % крахмала, хорошо растворима в воде. Амилопектин составляет

70-90 % и дает коллоидные растворы.



Амилоза



Амилопектин

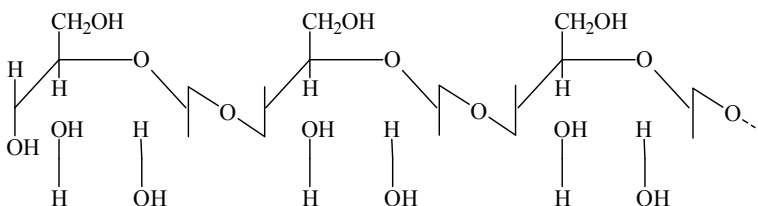
Обе фракции крахмала дают окрашивание с I<sub>2</sub> синего цвета.

Молекулярная масса их колеблется от 100 тысяч до 20 миллионов единиц.

При гидролизе крахмала образуются в первую очередь промежуточные продукты – декстрины, а затем дисахарид мальтоза и даже глюкоза. Крахмал находит широкое применение в медицине, фармацевтической, пищевой и др. отраслях промышленности.

*Гликоген* – животный крахмал, имеет более разветвленное строение, чем амилопектин крахмала. Молекулярная масса в среднем составляет от 10 млн. до 1 млрд. единиц. В наибольшем количестве находится в печени (до 10–20 %) и мышцах (до 4 %).

*Целлюлоза (клетчатка)* наиболее распространена в растительном мире. Имеет линейное строение, близкое к амилозе крахмала, но в качестве мономеров здесь выступают остатки  $\beta$ -D-глюкозы. Две линейные молекулы целлюлозы обычно располагаются параллельно друг другу, между ними возникают водородные связи – образуются как бы микрофибриллы, которые "цементируются" другими полисахаридами, пектиновыми веществами, лигнином. Так образуется клеточная стяжка растений, имеющая многослойное строение. Молекулярная масса точно не установлена, однако можно принять, что она колеблется от 300 тыс. до 10 млн. единиц.



Целлюлоза

Клетчатка не переваривается в желудочно-кишечном тракте человека, т. к. там отсутствуют ферменты, способные гидролизовать целлюлозу. Есть животные (крупный рогатый скот), у которых для этого особо приспособлен желудок, состоящий из нескольких частей.

*Гепарин* – специфический неоднородный гетерополисахарид. Это важнейший естественный антикоагулянт, предотвращающий свертывание крови. Гепарин содержится в печени, легких, селезенке, крови. Много его у пиявок и других кровососущих животных. В настоящее время используется в качестве стабилизатора крови при ее переливании, для лечения тромбов, ожоговой болезни, сердечно-сосудистых заболеваний.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1 Приведите общую характеристику углеводов?

2 Какова биологическая роль углеводов?

3 Классификация углеводов?

а) моносахариды;

б) олигосахариды;

в) полисахариды.

## **Лабораторная работа**

### **Качественные реакции моносахаридов, дисахаридов и полисахаридов**

**Цель:** Изучить качественные реакции моносахаридов, дисахаридов и полисахаридов

**Оборудование и реактивы:** Реактив Фелинга; уксусный альдегид (конц); глюкоза (1 %-ный раствор); сахароза (1 %-ный раствор); крахмал (1 %-ный раствор); фруктоза (1 %-ный раствор); соляная кислота концентрированная; резорцин кристаллический; виноградный сок (разбавленный); яблочный сок; спортивный напиток; серная кислота (10 %-ный раствор); гидроксид натрия (10 %-ный раствор); йодистый калий, этиловый спирт; хлористый аммоний кристаллический.

## **Ход работы**

### **Опыт 1 Взаимодействие углеводов с реактивом Фелинга**

В 5 пробирок мерным цилиндром налейте по 2 мл реактива Фелинга. Затем в 1 добавьте 2 мл раствора уксусного альдегида, во 2 – 2 мл 1 %-ного раствора глюкозы, в 3–2 мл 1 %-ного раствора сахарозы, в 4–2 мл 1 %-ного раствора мальтозы, в 5–2 мл 1 %-ного раствора крахмала. Все пробирки нагрейте в кипящей водяной бане до появления в части пробирок оранжевой окраски. Объясните наблюдаемые явления. Напишите уравнения происходящих реакций.

## **Опыт 2 Качественные реакции фруктозы**

В одну пробирку мерным цилиндром налейте 2 мл 1 %-ного раствора фруктозы, в другую – 2 мл 1 %-ного раствора глюкозы. В обе пробирки добавьте по 1 мл концентрированной соляной кислоты и несколько кристаллов резорцина. Поставьте пробирки в кипящую водяную баню на 1–2 мин. В пробирке с фруктозой появляется характерное окрашивание (красное). Объясните наблюдаемые явления.

## **Опыт 3 Обнаружение глюкозы и фруктозы в пищевых продуктах**

В две пробирки мерным цилиндром налейте по 2 мл разбавленного виноградного сока. В одной пробирке проведите качественную реакцию на глюкозу с реактивом Фелинга, в другой – качественную реакцию на фруктозу с соляной кислотой и резорцином, как это описано в опытах 1 и 2.

Прodelайте эти же опыты с яблочным соком и спортивным напитком. Результаты объясните.

## **Опыт 4 Гидролиз сахарозы**

В химический стакан мерным цилиндром налейте 10 мл 1 %-ного раствора сахарозы и 5 мл 10 %-ного раствора серной кислоты. Раствор прокипятите в течение 2 мин. В две пробирки отлейте по 2 мл гидролизата. В первой пробирке гидролизат нейтрализуйте 10 %-ным раствором щелочи (до нейтральной реакции лакмусовой бумажки), затем с помощью реактива Фелинга докажите нахождение в гидролизате глюкозы.

Во второй пробирке проделайте качественную реакцию на фруктозу с соляной кислотой и резорцином.

Напишите уравнение реакции гидролиза сахарозы с применением структурных формул.

## **Опыт 5 Качественная реакция крахмала и его обнаружение в пищевых продуктах**

С помощью мерного цилиндра налейте в пробирку 2 мл 1 %-ного раствора крахмала, добавьте пипеткой 2–3 капли раствора йода в йодиде

калия. Встряхните пробирку. Наблюдайте появление характерного окрашивания раствора. Нагрейте раствор в кипящей водяной бане. Через несколько минут осадите раствор под струёй холодной воды. Объясните наблюдаемое явление.

Налейте в 2 пробирки по 3–4 мл дистиллированной воды, в одну пробирку поместите кусочек белого хлеба величиной с горошину, в другую – такой же величины кусочек картофеля. Добавьте в каждую пробирку по 2–3 капли раствора йода в йодиде калия. Объясните наблюдаемые явления.

### **Опыт 6 Коллоидные свойства крахмала**

В две пробирки мерным цилиндром налейте по 2 мл раствора крахмала. В одну пробирку добавьте 1 мл этилового спирта. Наблюдайте на границе двух жидкостей образование плотного слоя коагулированного крахмала. В другую пробирку насыпайте кристаллический хлористый аммоний до полного насыщения, встряхивая смесь в пробирке. После отстаивания наблюдайте образование хлопьев высоленного крахмала.

### **Тест**

1 Напишите структурные формулы естественных широко распространенных моносахаридов, являющихся представителями альдоз; кетоз.

2 Какими свойствами обладают моносахариды:

а) редуцирующими;

б) окислительными;

в) гидроксилирующими.

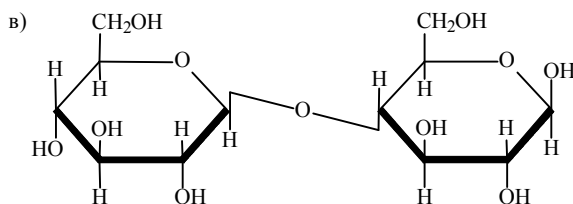
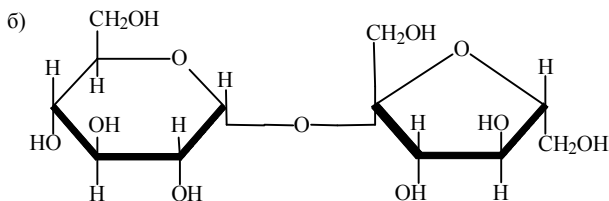
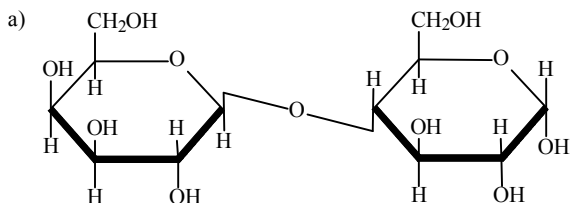
3 Какие дисахариды содержат в своем составе  $\alpha$ -D-глюкозу:

а) мальтоза;

б) сахароза.

4 Структурные формулы каких дисахаридов представлены ниже?

Остатки каких моносахаридов входят в их состав?



5 Напишите схематически строение:

а) амилозы;

б) амилопектина.

6 Напишите структурные формулы дисахаридов:

а) сахарозы;

б) мальтозы.

7 Какие дисахариды содержат остатки  $\beta$ -фруктозы:

а) сахароза;

б) лактоза;

в) целлюлоза.

8 Какие углеводы относятся к полисахаридам:

а) гликоген;

б) глюкоза;

- в) целлюлоза;
- г) крахмал;
- д) сахароза.

9 Для какого типа строения дисахаридов – мальтозного или сахарозного характерны редуцирующие свойства?

10 В состав какого полисахарида входит остаток фруктозы:

- а) гликоген;
- б) крахмал;
- в) целлюлоза.

11 Какой моносахарид образуется при полном гидролизе крахмала:

- а) галактоза;
- б) глюкоза;
- в) фруктоза.

12 Какими особенностями строения обусловлены различия в свойствах полисахаридов целлюлозы и гликогена?

13 Чем определяются химические свойства дисахаридов:

- а) отсутствием редуцирующих группировок;
- б) наличием редуцирующих группировок.



## Тема 4 Липиды

### 4.1 Общая характеристика липидов

### 4.2 Классификация липидов

### 4.1 Общая характеристика липидов

**Липиды** – это большая группа веществ различного химического строения, широко распространенная в природе. В структурном отношении все липиды являются сложными эфирами жирных кислот и разнообразных спиртов. Общим свойством для всех липидов является их нерастворимость в воде. Растворяются же они в органических растворителях (бензоле, хлороформе, ацетоне, эфире), что и используется для их извлечения из тканей и разделения. Липиды составляют 10–20 % массы тела человека.

В чистом виде липиды легче воды, не обладают летучестью, в воде образуют нестойкие эмульсии. В организме животных и человека роль эмульгаторов, превращающих липиды в тонкие эмульсии (а только в таком виде они усваиваются) выполняют желчные кислоты.

При хранении липиды под действием света, кислорода воздуха и влаги приобретают неприятный вкус и запах. Этот процесс носит название прогоркания. Он обусловлен гидролизом липидов и окислением их продуктов, что приводит к образованию альдегидов и кетонов с неприятным запахом и вкусом.

#### ***Биологические функции липидов:***

- являются богатым источником энергии. Так, при окислении 1 г жира выделяется приблизительно 39 кДж энергии (9,3 ккал);

- участвуют в образовании клеточных мембран, влияя, таким образом, на проницаемость клеточных мембран; участвуют в передаче нервного импульса и в создании межклеточных контактов. Это пла-

стическая функция липидов.

*Специфические функции липидов:*

а) защитная (в виде жировой прокладки выполняют чисто механическую защитную функцию);

б) многие липиды являются растворителями для некоторых биологически активных веществ (жирорастворимых витаминов А, D, Е и др.);

в) участвуют в процессе терморегуляции, предохраняя организм от переохлаждения;

г) липиды являются внутренним источником воды для организма, так как при окислении 100 г жира образуется около 107 г  $H_2O$ ;

д) являясь липидами, все стероидные гормоны (половые гормоны, гормоны надпочечников) выполняют различные регуляторные функции;

е) жиры, выделяемые кожными железами, служат смазкой для кожи, обеспечивают несмачиваемость покровов у водоплавающих птиц и животных.

По своему назначению липиды (жиры) делятся на протоплазматические и резервные. Протоплазматический жир входит в состав компонентов протоплазмы клеток, являясь важным структурным элементом. Содержание такого жира в тканях и органах постоянно, не увеличивается при патогенном ожирении и не уменьшается даже при гибели животного от полного голодания. Резервный жир откладывается в подкожной жировой клетчатке, сальнике и других скоплениях жировой ткани. Этот жир каждые 4-5 дней частично обновляется. К резервным липидам относят триглицериды. Все остальные липиды можно отнести к структурным липидам.

## **4.2 Классификация липидов**

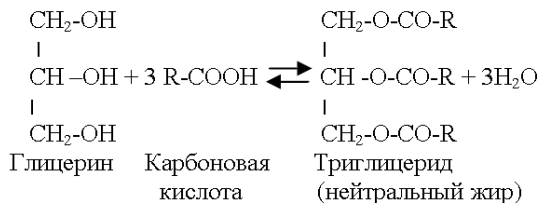
По химическому строению липиды разделяются на:

1) нейтральные жиры или собственно жиры;

2) липоиды или жироподобные вещества.

**1 Нейтральные жиры** – это сложные эфиры, образованные трёх-атомным спиртом – глицерином и высокомолекулярными жирными карбоновыми кислотами (ВЖК).

Пример образования нейтрального жира:



В составе природных жиров несколько десятков различных жирных кислот. Они отличаются друг от друга длиной углеродной цепи (чаще кислоты содержат от 4 до 24 атомов углерода), ее строением, числом и положением двойных связей, наличием различных группировок.

К числу важнейших жирных кислот относятся:

#### **Предельные**

$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  – масляная

$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$  – капроновая

$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COOH}$  – каприловая

$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$  – каприновая

$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$  – пальмитиновая

$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$  – стеариновая

#### **Непредельные**

$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$  – олеиновая (=)

$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$  – линолевая (2=)

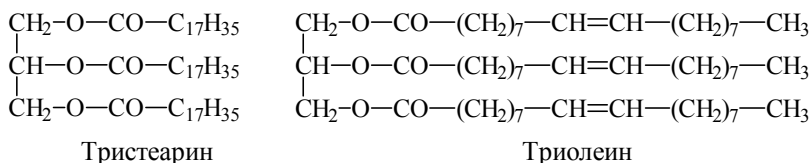
$\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$  – линоленовая (3=)

$\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{COOH}$  – арахидоновая (4=)

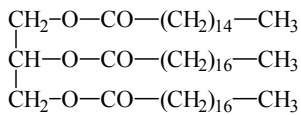
Присутствие в жирах большого количества ненасыщенных жирных кислот придает им жидкую консистенцию – это растительные масла; содержание преимущественно насыщенных жирных кислот – твердую консистенцию – это животные жиры. Непредельные жирные кислоты имеют большое физиологическое значение для организма, т. к. являются витаминами группы F, но некоторые из них не способны синтезироваться организмом. Это так называемые незаменимые кислоты – линолевая,

линоленовая, арахидоновая. Они должны обязательно поступать с пищей, поэтому растительные масла, содержащие эти жирные кислоты, обладают высокой биологической ценностью и должны быть в пищевом рационе круглый год.

Среди триглицеридов различают простые и смешанные. В состав первых входят три одинаковых ВЖК, например:



Смешанные триглицериды построены из остатков глицерина и трёх разных ВЖК:

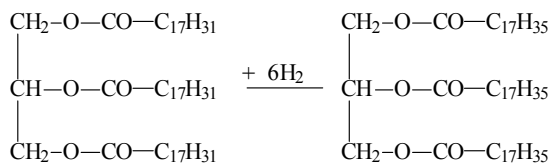


Пальмитодистеарин

Природный жир представляет собой смесь различных триглицеридов, в которой преобладают смешанные триглицериды. Кроме различных триглицеридов, он содержит примеси – витамины, пигменты (окрашенные вещества), а также свободные жирные кислоты.

Большой химической активностью обладают жиры, содержащие много ненасыщенных жирных кислот, по месту разрыва двойных связей которых могут идти реакции присоединения (галогенов, водорода и др.). Присоединение водорода носит название гидрогенизации. Точка плавления жира при этом повышается; жидкие жиры превращаются в твёрдые.

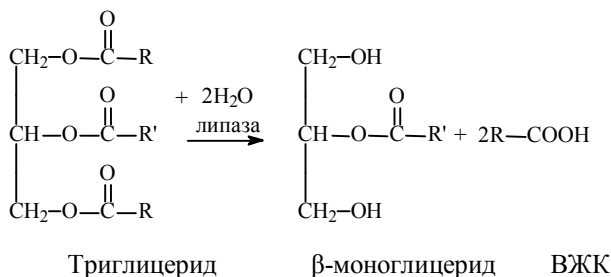
Гидрогенизации в технике подвергаются некоторые растительные масла, используемые при производстве маргарина.



Жидкий жир

Твёрдый жир

При гидролизе жиров в организме образуются жирные кислоты и глицерин. Первый этап липолиза можно представить в виде схемы реакции:

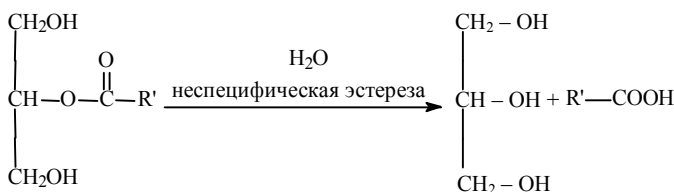


Триглицерид

β-моноглицерид

ВЖК

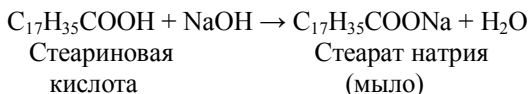
β-Моноглицерид, образовавшийся на первом этапе распада триглицеридов, далее гидролизуется неспецифической эстеразой до глицерина и высшей жирной кислоты:



β-моноглицерид

Глицерин ВЖК

Гидролиз жиров под действием щелочей (или соды), называемый реакцией омыления, приводит к образованию глицерина и солей жирных кислот, которые являются мылами. Если взять гидроксид натрия – получают так называемое твердое мыло; если гидроксид калия – жидкое мыло:



**2 Липоиды – жироподобные вещества** – это большая группа веществ, по свойствам близкая к жирам, но отличающаяся строением молекул и ролью в организме. Липоиды обычно сопутствуют жирам, но особенно много их в мозгу и нервной ткани (до 50 %).

По химическому строению липоиды делятся на:

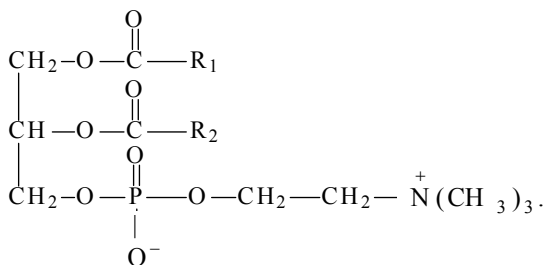
- фосфатиды (фосфолипиды);
- стерины и стериды;
- цереброзиды;
- воска.

В некоторой литературе приводится несколько иное деление липидов на группы.

**Фосфатиды** – это наиболее распространенная группа липоидов. Строение фосфатидов установлено при изучении продуктов их гидролиза. Таковыми являются:

- глицерин;
- жирные кислоты;
- фосфорная кислота;
- различные аминоспирты (холин, коламин, сфингозин).

Фосфатиды, содержащие аминоспирт холин, называются лецитинами.

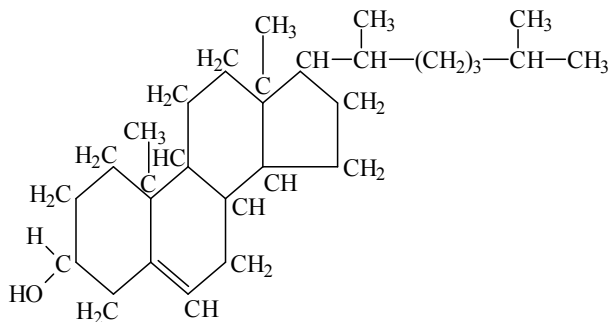


α -лецитин

Они в большом количестве содержатся в желтках яиц, в мозговой ткани, семенах подсолнечника, сперме, молоке. Сам холин – аминоспирт, может встречаться в организме в свободном состоянии, где, со-

единяясь с уксусной кислотой, образует вещество ацетилхолин, которое участвует в передаче нервных импульсов. При недостатке холина наблюдается нарушение обмена веществ, в частности, жировое перерождение печени.

**Стерины и стериды** – это высокомолекулярные циклические спирты, содержащие кольцо цикlopentanпергидрофенантрена. Различные стерины отличаются друг от друга строением боковой углеводородной цепи и наличием двойных связей в фенантреновом кольце. Наиболее важным из этой группы веществ является холестерин.



Холестерин

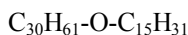
Холестерин играет важную роль в биологических процессах: из него образуются женские и мужские половые гормоны, гормоны коры надпочечников; является материалом для построения витаминов группы D, желчных кислот. При нарушении обмена холестерина развивается заболевание атеросклероз. В значительных количествах холестерин содержится в липидах нервной ткани, яиц и клеток спермы, печени, надпочечниках, стенках эритроцитов. Спиртовая группа холестерина участвует в образовании сложных эфиров пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и др. кислот. Эти эфиры называются стеридами.

**Цереброзиды** – содержат в своем составе аминокспирт сфингозин, гексозу (галактозу) и различные жирные кислоты. В больших количествах

вах содержатся в мембранах нервных клеток, где они, видимо, необходимы для нормальной передачи нервных импульсов.

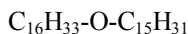
**Воска** – это сложные эфиры высших монокарбоновых кислот и высших спиртов жирового (реже ароматического) ряда. Природные воска содержат так же душистые и красящие вещества.

Пчелиный воск – вырабатывается специальными железами рабочих пчел, служит для построения пчелиных сот.



Пчелиный воск

Спермацет – воск животного происхождения, содержится в черепных полостях кашалота. Его биологическая роль не установлена. Считают, что он участвует в эхолокации. Широко применяется в медицине.



Спермацет

Есть воска и растительного происхождения – карнаубский воск.

Воска выполняют в основном защитную функцию в организме. Они образуют защитную смазку на коже, шерсти, перьях, покрывают листья, стебли, плоды, а также кутикулу внешнего скелета насекомых. Восковой налет предохраняет от смачивания, высыхания, проникновения микробов.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Приведите общую характеристику липидов?
- 2 Какова биологическая роль липидов?
- 3 Приведите классификацию липидов и дайте краткую характеристику основным классам:
  - нейтральным жирам;
  - липоидам.



# Лабораторная работа

## Свойства жиров и липоидов

**Цель:** Изучить свойства жиров и липоидов.

**Реактивы и оборудование:** Раствор йода в йодистом калии; крахмал (1 %-ный раствор); подсолнечное масло; свиное сало; гидроксид калия, спиртовой раствор (15 г КОН растворяют в 10 мл воды, подогревая раствор на водяной бане, и выливают в 100 мл спирта); гидроксид натрия (10 %-ный раствор); сернокислая медь (2 %-ный раствор); серная кислота (10 %-ный раствор); хлористый кальций (10 %-ный раствор); ацетон; спиртовой раствор яичного желтка.

## Ход работы

### Опыт 1 Открытие непредельных кислот в жире

В три пробирки мерным цилиндром налейте по 2–3 мл дистиллированной воды и 5–6 капель раствора йода в йодистом калии. В первую пробирку добавьте 1 мл 1 %-ного раствора крахмала. Изменение окраски говорит о том, что крахмал может служить реактивом на присутствие в растворе йода.

Во вторую пробирку пипеткой прибавьте 10–12 капель подсолнечного масла, в третью – 0,5 г сала. Обе пробирки встряхивайте в течение 3–5 минут, затем прилейте в каждую по 1 мл 1 %-ного крахмала. Обратите внимание на различие в окраске растворов в пробирках. Объясните эти причины и напишите соответствующие реакции.

### Опыт 2 Гидролиз жира и открытие в гидролизате его составных частей

#### *Гидролиз жира*

В широкую пробирку пипеткой налейте 20 капель подсолнечного масла и мерным цилиндром 2–3 мл спиртового раствора гидроксида калия. Пробирку поместите в кипящую водяную баню на 15–20 минут

до образования однородного раствора. Напишите уравнение реакции гидролиза триглицерида.

К гидролизату мерным цилиндром прилейте 6–8 мл воды, взболтайте и используйте для открытия глицерина и жирных кислот.

#### *Открытие глицерина*

В чистую пробирку мерным цилиндром налейте 2–3 мл разбавленного гидролизата, добавьте равный объем 10 %-ного раствора щелочи и 2–3 капли 2 %-ного раствора сернокислой меди. Смешайте. Наблюдайте появление характерного для глицерата меди окрашивания раствора. Напишите уравнение реакции образования глицерата меди.

#### *Открытие жирных кислот*

Оставшийся гидролизат разлейте поровну в две пробирки. В первую мерным цилиндром прибавьте равное количество 10 %-ного раствора серной кислоты и поместите её в кипящую водяную баню до образования на поверхности раствора жидкого слоя жирных кислот. Во вторую пробирку пипеткой прибавьте 5–6 капель 10 %-ного раствора хлористого кальция. Встряхните. Наблюдайте появление осадка нерастворимого кальциевого мыла. Напишите уравнение реакции.

### **Опыт 3 Открытие лецитина в яичном желтке**

В две пробирки мерным цилиндром налейте по 1 мл спиртового раствора яичного желтка. В одну пробирку добавьте равное количество воды, в другую – ацетона. Наблюдайте образование эмульсии лецитина в первой пробирке и его осаждение во второй. Напишите структурную формулу лецитина и сделайте вывод о его растворимости.

### **Тест**

1 Какие соединения относятся к липидам:

- а) фосфатиды;
- б) воска;

- в) нейтральные жиры;
- г) гексурановые кислоты.

2 В каких растворителях растворяются липиды:

- а) вода;
- б) бензол;
- в) неполярные растворители;
- г) кислоты.

3 Назовите характерные особенности двойных связей ненасыщенных жирных кислот в составе липидов:

- а) двойная связь находится в большинстве случаев между C-9 и C-10;
- б) дополнительные связи обычно встречаются на участке между C-10 и метильным концом цепи;
- в) двойные связи имеют транс-конфигурацию;
- г) двойные связи имеют цис-конфигурацию;
- д) в жирных кислотах, содержащих две или больше двойных связей, они никогда не находятся в сопряжении.

4 Какой из указанных показателей характеризует степень ненасыщенности жирных кислот:

- а) эфирное число;
- б) йодное число;
- в) число омыления;
- г) кислотное число;

5 Какова химическая природа нейтральных жиров:

- а) триацилглицеролы;
- б) диацилглицеролы;
- в) фосфоглицериды;
- г) смешанные триацилглицеролы;
- д) сфинголипиды.

6 Какие функции выполняют липиды:

- а) являются структурными компонентами биомембран;
- б) служат формой, в которой запасается метаболическое топливо;
- в) служат формой транспортировки топлива;
- г) несут генетическую информацию;
- д) выполняют защитную функцию;

7 Какие свойства характерны для жирных кислот, входящих в состав липидов высших растений и животных:

- а) наличие четного числа атомов углерода;
- б) преобладание ненасыщенных жирных кислот;
- в) более низкая температура плавления ненасыщенных жирных кислот;
- г) наличие альдегидных или кетонных групп;
- д) оптическая плотность.

8 Какой процесс называется омылением жиров:

- а) ферментативный гидролиз;
- б) щелочной гидролиз;
- в) гидрогенизация;
- г) реакция с ацетатом свинца;
- д) эмульгирование жиров.

9 Какой из указанных показателей дает возможность определить содержание свободных жирных кислот в нейтральных жирах:

- а) число омыления;
- б) йодное число;
- в) кислотное число;
- г) эфирное число.

10 Какие компоненты клетки содержат фосфолипиды:

- а) миелиновые оболочки клеток спинного мозга;
- б) гиалоплазма клеток (используются для окисления в энергетических целях);
- в) липопротеидный комплекс мембран.

## Тема 5 Ферменты

- 5.1 Общая характеристика ферментов
- 5.2 Строение и механизм действия ферментов
- 5.3 Свойства ферментов
- 5.4 Номенклатура и классификация ферментов

### 5.1 Общая характеристика ферментов

*Ферменты* – это вещества белковой природы, способные каталитическим путем ускорять протекание химических реакций в организме. Молекулярная масса ферментов от 12 000 до 500 000 и больше.

Другими словами, ферменты – это биологические катализаторы, которые обладают высокой активностью и специфичностью. Так, одной части фермента амилазы достаточно, чтобы разложить  $10^6$  частей крахмала. Эти черты ферментов выработались у живых организмов в процессе эволюции. Место образования и действия ферментов – клетки тканей. Роль ферментов огромна. Они обеспечивают быстрое протекание в организме и вне его большого числа химических реакций. В настоящее время из биологических объектов выделено и изучено несколько сот ферментов. Подсчитано, что живая клетка содержит до 1000 ферментов, каждый из которых ускоряет ту или иную химическую реакцию.

Ферменты и катализаторы неорганической природы, подчиняясь общим законам катализа, имеют сходные признаки:

- катализируют только энергетически возможные реакции;
- не изменяют направление реакции;
- не расходуются в процессе реакции;
- не участвуют в образовании продуктов реакции.

*Отличия ферментов от неорганических катализаторов:*

- ферменты осуществляют свое действие в очень мягких условиях

(при низких температурах, нормальном давлении, невысоких значениях рН среды) и очень интенсивно;

- ферменты обладают необыкновенно высокой специфичностью действия – каждый фермент каталитически ускоряет, как правило, одну единственную химическую реакцию или, в крайнем случае, группу реакций подобного типа;

- самая существенная разница между ферментами и неорганическими катализаторами состоит в том, что процесс ферментативного катализа является серией элементарных превращений веществ, строжайшим образом организованных в пространстве и времени и наследственно обусловленных;

- ферменты имеют белковую природу и им присущи все свойства белков:

- а) при гидролизе образуются аминокислоты;

- б) способны денатурировать или коагулировать под действием высоких температур, сильных кислот, солей тяжелых металлов;

- в) имеют высокую молекулярную массу;

- г) способны кристаллизовываться.

*Белки выполняют функции ферментов по следующим причинам:*

- белки имеют большое разнообразие функциональных групп;

- белки, сохраняя своё постоянство, в то же время могут изменять свою пространственную структуру. Если первичная структура белка закреплена и запрограммирована генетически, то вторичная, третичная и четвертичная структура белка отличается известной лабильностью, т.е. конформация белковой молекулы может в известной степени изменяться.

## **5.2 Строение и механизм действия ферментов**

### **Строение ферментов**

По строению ферменты делятся на простые – ферменты-протеины,

и сложные – ферменты-протеиды.

Ферменты-протеины состоят только из аминокислот. Сюда относят ферменты желудочно-кишечного тракта пепсин и трипсин, которые ответственны за расщепление белков.

Ферменты-протеиды состоят из двух частей: аминокислот (белкового составляющего) и активного вещества небелковой природы. Белковая часть получила название апофермент, а небелковая – кофермент. Часто роль кофермента выполняют витамины. Например, витамин B<sub>6</sub> является коферментом более 30 различных ферментов; B<sub>5</sub> входит в состав NAD, NADF; B<sub>3</sub> – в состав ацетилкоэнзима А.

В молекуле фермента различают три центра:

- активный центр, где непосредственно осуществляется акт катализа; он расположен в углублениях на поверхности молекул кофермента. Формирование активного центра связано с третичной структурой белковой молекулы фермента;

- субстратный, или "якорная площадка" – участок молекулы, куда присоединяется субстрат – то вещество, что участвует в реакции. Так же находится на коферменте. Субстрат прикрепляется к ферменту за счёт различных взаимодействий между определёнными боковыми радиалами аминокислотных остатков и соответствующими группами молекулы субстрата. Субстрат с ферментом связывается посредством ионных взаимодействий, водородных связей;

- аллостерический центр – это часть белковой молекулы фермента, куда присоединяются какие-нибудь низкомолекулярные вещества (гормоны) и так видоизменяют пространственную структуру активного центра фермента, что последний повышает или снижает каталитическую активность.

### **Механизм действия ферментов**

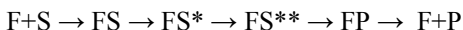
Для того, чтобы могла осуществляться химическая реакция, молекулы веществ должны обладать определенной энергией, необходимой

для преодоления так называемого энергетического барьера. Этот энергетический барьер для молекул обусловлен силами отталкивания между ними или же внутримолекулярными силами сцепления. Энергия, которую необходимо сообщить молекулам, чтобы между ними произошло взаимодействие, называется энергией активации. Скорость химической реакции может быть повышена как вследствие увеличения числа активных молекул, так и путём уменьшения высоты энергетического барьера – энергии активации.

Снижение энергии активации можно достичь несколькими путями: повышение температуры либо давления, что для живых организмов не приемлемо. Природа нашла еще один путь решения этой проблемы – биологические катализаторы (ферменты), которые способны снизить этот энергетический барьер.

Согласно современным представлениям о механизме ферментативного катализа, в ходе каталитической реакции образуется промежуточное соединение фермента с субстратом, – возникает так называемый "фермент-субстратный" комплекс (FS). Затем происходит активация аллостерического центра, например, гормонами (FS\*), что, в свою очередь, активирует активный центр (FS\*\*). После этого произойдёт реакция и образуется новое вещество (P), соединённое с ферментом (FP). На последней стадии катализа вещество P отделяется от фермента (F). Большую роль в разработку механизма ферментативного катализа внесли учёные А. Браун (1902г), Л. Михаэлис и М. Ментен (1913 г).

*Схема ферментативного процесса;*



### **5.3 Свойства ферментов**

Свойства ферментов, прежде всего, определяются их белковой при-



родой, однако им присущи и некоторые специфические свойства:

- термоллабильность ферментов – каждый фермент для проявления оптимального действия требует определенной температуры окружающей среды. До температуры 50°C каталитическая активность ферментов увеличивается: на каждые 10°C скорость ферментативной реакции увеличивается в 2 раза. Для растений этот оптимум достигает 60°C. Выше этой температуры уже значительно ослабевает действие ферментов, а температура 70-80°C приводит их в необратимое состояние, т. к. белок разрушается. Но есть и исключение для некоторых ферментов: папаин активен при температуре до 80°C, миокиназа – до 100°C, а вот фермент каталаза, ускоряющая распад перекиси водорода, имеет температурный оптимум от 0 до 10°C;

- зависимость активности ферментов от pH среды – каждый фермент осуществляет каталитическое действие в строго определенных интервалах концентраций ионов водорода, т.е. pH среды. Например, пепсин (фермент желудочного сока, расщепляющий белки) "работает" в сильно кислой среде (pH 1,5-2,5), а каталаза – при pH около 7;

- специфичность действия ферментов – одно из главных свойств. Это свойство ферментов заключается в том, что каждый фермент действует только на определенный субстрат или группу субстратов, сходных по своему строению. Например, пепсин, трипсин расщепляют только белки, амилаза – крахмал; уреаза – мочевины. Польский ученый Фишер, занимающийся изучением ферментов, отмечал, что фермент действует на субстрат лишь в том случае, если он подходит к субстрату как «ключ к замку» или как «перчатка к руке».

Различают несколько видов специфичности:

- а) стереохимическая – фермент катализирует превращение только одного стереоизомера субстрата. Например, фумаратгидратаза катализирует присоединение молекулы воды к кратной связи фумаровой ки-

слоты, но не к её стереоизомеру – малеиновой кислоте;

б) абсолютная – фермент катализирует превращение только одного субстрата. Например, уреазы катализируют только гидролиз мочевины;

в) групповая – фермент катализирует превращение группы субстратов сходной химической структуры. Например, алкогольдегидрогеназа катализирует превращение этанола и других алифатических спиртов, но с разной скоростью.

Активаторы и ингибиторы ферментов. Целый ряд ферментов для проявления своего оптимального действия требуют присутствия определенных веществ, которые повышают их каталитическую активность. Их называют активаторами. К числу активаторов относят ионы многих металлов –  $Mg^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , из анионов –  $Cl^-$ . Воздействие различных активаторов на ферменты проявляется по-разному. В одних случаях ионы металлов способствуют присоединению кофермента к апоферменту; в других – входят непосредственно в простетическую группу; в-третьих – оказывают определённое воздействие на образование фермент-субстратного комплекса; в четвёртых, присоединяясь к аллостерическим центрам ферментов, приводят к изменению их пространственной конформации за счёт изменения третичной структуры.

Наряду с активаторами, имеются вещества, угнетающие ферментативную активность. Их называют ингибиторами, или парализаторами.

Например, для амилазы слюны активатором служит хлористый натрий, а ингибитором – сернокислая медь. Ионы  $Ag^+$ ,  $Hg^+$ ,  $Pb^{2+}$  угнетают почти все известные ферменты, блокируя активный центр фермента. Такой тип ингибирования называют неконкурентным. В ряде случаев в качестве конкурентных ингибиторов могут быть вещества, сходные по строению с субстратами ферментов. Так активность фермента сукцинатдегидрогеназы, окисляющего янтарную кислоту, тормозится гомологом этого вещества – малоновой кислотой.

Следует отметить, что деление веществ на активаторы и ингибиторы является условным. Иногда одно и то же вещество при различных концентрациях ведет себя как ингибитор или активатор.

## 5.4 Номенклатура и классификация ферментов

Первоначально ферментам по мере открытия и изучения свойств давали произвольные (тривиальные) названия. Например, фермент, гидролизующий крахмал, называли пталин. Позднее, когда количество ферментов значительно возросло, возникла необходимость как-то усовершенствовать их номенклатуру. Наиболее удачной оказалась классификация, по которой называют субстрат, подвергающийся действию фермента, и добавляют окончание -аза. Например, фермент, расщепляющий сахарозу, называют сахараза.

Однако эта классификация не отражала типа химической реакции, в которой участвует тот или иной фермент. В настоящее время пользуются классификацией, предложенной Международной комиссией по ферментам в 1961 году и основанной на принципе действия ферментов.

*Выделяют шесть основных классов ферментов:*

*Оксидоредуктазы* – катализируют окислительно-восстановительные реакции.

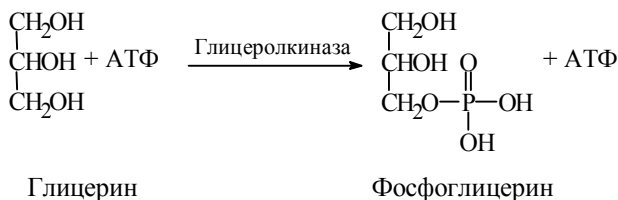


Молочная кислота

Пировиноградная кислота

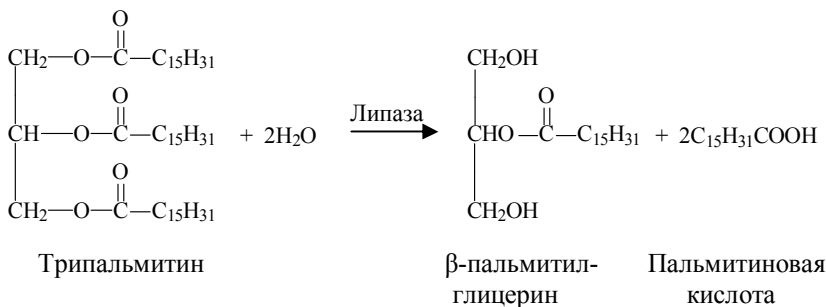
Представители этого класса: лактатдегидрогеназа, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа, малатдегидрогеназа, алкогольдегидрогеназа, каталаза, цитохромоксидаза.

*Трансферазы* – ускоряют каталитическим путём реакции переноса



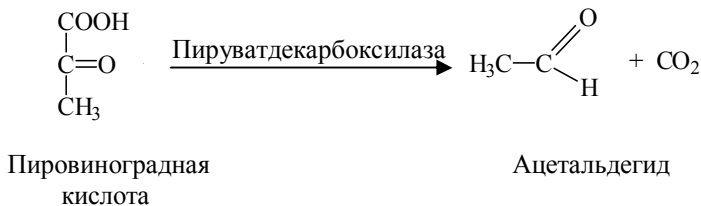
Сюда относятся: глицеролкиназа, мальтозофосфорилаза, глицерофосфатацилтрансфераза.

*Гидролазы* – катализируют реакции расщепления сложных веществ на более простые с присоединением молекулы  $H_2O$ . Сюда относится большинство пищеварительных ферментов.



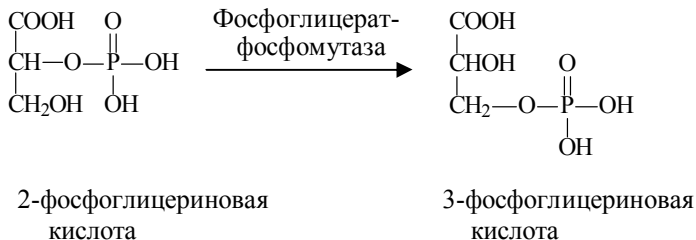
Представители: фосфотаза, мальтаза, пептидгидролаза, аспарагиназа.

*Лиазы* – катализируют реакции отщепления от субстрата негидролитическим путём определенных молекул с образованием двойных связей и образованием простых соединений ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).



Представители: аланиндекарбоксилаза, фумаратгидратаза.

*Изомеразы* – катализируют реакции изомеризации одних органических изомеров в другие. Например, альдегидов в кетоны, цисформ в трансформы.



Глюкозофосфатизомеразы, превращающая глюкозу-6-фосфат во фруктозу-6-фосфат, относится к этому классу.

*Лигазы или синтетазы* – ускоряют реакции синтеза с использованием энергии АТФ и других макроэргических соединений.



Ацил-КоА-синтетаза, пируваткарбоксилаза – представители данного класса ферментов.

Классы подразделяются на подклассы, а последние на подподклассы или группы, внутри которых каждому ферменту присвоен свой порядковый номер.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Приведите общую характеристику ферментов?
- 2 Каково строение ферментов?
- 3 Каков механизм действия ферментов?

4 Перечислите основные свойства ферментов?

5 Номенклатура и классификация ферментов?

## **Лабораторная работа**

### **Ферменты**

**Цель:** Изучить основные свойства ферментов

**Оборудование и реактивы:** Амилаза слюны (прополаскивают рот, затем набирают 10 мл дистиллированной воды и держат ее во рту в течение минуты, после чего сливают в стаканчик, фильтруют через бумажный фильтр); крахмал (0,1 %-ный раствор); раствор Люголя (20 г йодистого калия и 10 г йода растворяют в 100 мл воды, для работы используют раствор, разведенный в 5 раз); гидроксид натрия (0,1н раствор); соляная кислота (0,1н раствор); мочеви́на (10 %-ный раствор); пепсин в соляной кислоте (0,1н раствор пепсина в 0,2 %-ном растворе HCl), фенолфталеин.

### **Ход работы**

#### **Опыт 1 Ферментативный гидролиз крахмала под действием амилазы**

В девять пробирок наливают по 2 мл воды и прибавляют по 2 капли 0,1 %-ного раствора йода в иодиде калия. В десятую пробирку наливают 5 мл 0,5 %-ного раствора крахмала, прибавляют разный объем разведенной в 10 раз слюны, быстро перемешивают и 2 капли смеси вносят в первую пробирку с раствором йода. Через 5–15 секунд (в зависимости от активности фермента) из десятой пробирки берут по две капли раствора во вторую, третью, ..., девятую пробирки, перемешивают и отмечают получаемое окрашивание. При правильно выбранном интервале времени наблюдается постепенный переход окраски растворов в пробирках от синей через красную (различных оттенков) до желтой (цвет раствора

йода). С содержимым десятой пробирки проделывают реакцию Троммера. Отмечается появление красно-кирпичного осадка оксида меди (I).

### **Опыт 2 Специфичность действия амилазы и сахаразы**

В две пробирки помещают по 5–6 капель 0,5 %-ного раствора крахмала. В одну из них добавляют 8–10 капель разведенной в 5 раз слюны (содержащей амилазу), в другую – 8–10 капель вытяжки из дрожжей, содержащей фермент сахаразу. Обе пробирки выдерживают 10 минут при комнатной температуре, прибавляют в них по капле 0,1 %-ного раствора йода в йодиде калия и отмечают окрашивание

В две другие пробирки помещают по 10–12 капель 1 %-ного раствора сахарозы и добавляют в первую пробирку 8–10 капель вытяжки из дрожжей, во вторую – 8–10 капель разведенной слюны. После выдержки пробирок при комнатной температуре в течение 5 минут с их содержимым проделывают реакцию Троммера.

Действие ферментов в обоих опытах обнаруживается либо по исчезновению субстрата, либо по появлению продуктов его гидролиза. Убеждаются, что амилаза катализирует гидролиз крахмала (но не сахарозы), а сахараза – гидролиз сахарозы (но не крахмала).

### **Опыт 3 Влияние активаторов и ингибиторов на активность ферментов**

В 3 пробирки с 10 каплями разведенной в 5 раз слюны прибавляют: в первую – 8 капель воды и 2 капли 1 %-ного раствора хлорида натрия, во вторую – 10 капель воды, в третью – 8 капель воды и 2 капли 1 %-ного раствора сульфата меди (II). Содержимое перемешивают, прибавляют во все пробирки по 5 капель 0,5 %-ного раствора крахмала и оставляют при комнатной температуре. Через каждые 5 минут (3 раза) в заранее приготовленные 3 пробирки с 2 мл воды, подкрашенной 2 каплями 0,1 %-ного раствора йода, отбирают по 2–3 капли содержимого каждой из опытных пробирок. Наблюдают различия характера окраски в иссле-

двух случаях. Делают вывод об активности фермента в присутствии хлорида натрия и сульфата меди (II).

### Тест

1 Какой фермент обладает абсолютной специфичностью к субстрату:

- а) химотрипсин;
- б) папаин;
- в) уреазы;
- г) аргиназы;
- д) лизоцим;

2 Какой оптимум pH имеет фермент пепсин:

- а) 1,5 – 2,5;
- б) 4 – 5;
- в) 6 – 7;
- г) 8 – 9;
- д) 10 – 11;

3 При каком pH большинство ферментов проявляют максимальную активность:

- а) в кислой, pH 1,5 – 2;
- б) в щелочной, pH 8 – 9;
- в) близкой к нейтральной;
- г) только при pH 7;

4 Какой фермент обладает стереоспецифичностью:

- а) альдолаза;
- б) пируватдегидрогеназа;
- в)  $\alpha$ -глюкозидаза;
- г) фумаратгидратаза;
- д) липаза;

5 Какой оптимум pH имеет фермент амилаза:



а) 1,5 – 2;

б) 7 – 7,5;

в) 8 – 9;

г) 3,5 – 4;

д) 4,5 – 5;

6 При какой температуре ферменты денатурируют:

а) 0°C;

б) 80 – 100°C;

в) 20 – 30°C;

г) 30 – 40°C.

## Тема 6 Витамины

### 6.1 Общая характеристика витаминов

### 6.2 Номенклатура и классификация витаминов

### 6.3 Витаминоподобные вещества и антивитамины

## 6.1 Общая характеристика витаминов

Долгое время считалось, что пища, содержащая белки, жиры, углеводы, минеральные вещества и воду, полностью отвечает биологическим потребностям организма. Однако результаты многих исследований, практический опыт врачей и участников длительных путешествий указывали на существование ряда специфических заболеваний, связанных с недостаточностью такого питания. Поэтому возникло предложение, что для полноценного питания необходимы еще какие-то дополнительные факторы. Одним из таких факторов являются витамины. Термин "витамин" – в дословном переводе "амин жизни" – ввел в науку польский ученый К. Функ (1911-1912 гг.), которому удалось получить смесь витаминов в кристаллическом виде. Большая заслуга в изучении витаминов принадлежит и русскому ученому Н. И. Лунину (1880 г.).

**Витамины** – это низкомолекулярные органические соединения различной химической природы, общей чертой которых является способность в незначительных количествах обеспечивать нормальное протекание процессов жизнедеятельности.

Они синтезируются главным образом в клетках растений и микроорганизмов. У животных и человека витамины, как правило, не могут быть синтезированы и должны поступать с пищей. Правда, некоторые из них могут образовываться в организме из так называемых веществ-провитаминов, но для этого нужны особые условия. Например, наличие в пище провитамина каротина вызывает синтез витамина А, а освещение кожи ульт-

рафиолетовыми лучами – необходимое условие синтеза витамина D.

Витамины, присутствуя в органах и тканях в минимальных количествах, не являются ни энергетическим, ни пластическим материалом, однако, благодаря высокой биологической активности, оказывают значительное влияние на обмен веществ. Основная биологическая роль витаминов заключается в том, что они входят в состав ферментов, участвующих в каталитических реакциях организма или являются веществами, активирующими некоторые ферментативные процессы. Целому ряду витаминов присущи регуляторные функции. Они оказывают влияние на проницаемость биологических мембран, а, следовательно, на транспорт через них различных веществ.

Отсутствие или недостаток витаминов в пище приводит к нарушению обмена веществ, проявляющемуся в виде заболеваний, к числу которых относятся, например, цинга, рахит и ряд других. Авитаминоз возникает при полном отсутствии того или иного витамина; гиповитаминоз – при недостаточном поступлении витаминов в организм. К числу таких заболеваний относятся цинга, рахит и ряд других. При избыточном поступлении витаминов в организм, что встречается крайне редко, например, на Севере при питании только мясом белого медведя, возникают заболевания с общим названием гипervитаминозы. Гипervитаминозы чаще всего создают искусственно и так изучают.

Развитие науки о витаминах – витаминологии – привело к открытию множества новых витаминов, выяснению их химической природы, а также роли их в организме. Сейчас витамины получают не только из природных продуктов, но и путем химического синтеза.

## **6.2 Номенклатура и классификация витаминов**

В настоящее время известно более 30 витаминов. Большинство ви-

таминов принято обозначать буквами латинского алфавита (А, В, С и т. д.). Кроме того, применяются и химические названия витаминов. Например, витамин А – ретинол, витамин В<sub>1</sub> – тиамин. Часто в названии витаминов указывают его характерные физиологические свойства: витамин А – антиксерофthalmический, витамин D – антирахитический и т. д.

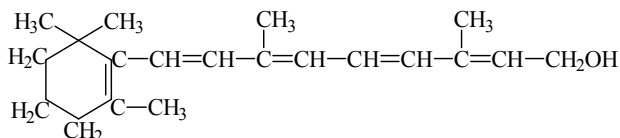
Все витамины по их растворимости в различных веществах делят на две большие группы:

- жирорастворимые витамины;
- водорастворимые витамины.

### ***Жирорастворимые витамины***

Как следует из названия, эти витамины хорошо растворимы в жирах и не растворимы в воде. Общим свойством данных витаминов является их способность накапливаться в организме в виде запасов, поэтому при недостаточном поступлении их с пищей авитаминозы и гиповитаминозы здесь развиваются медленнее, чем в группе водорастворимых витаминов.

**Витамин А** (ретинол, антиксерофthalmический), потребность – 1-2 мг/сутки



Ретинол

Этот витамин предохраняет человека и животных от ксерофтальмии – заболевания, связанного с нарушением роговой оболочки глаз. На первой стадии А-авитаминоза развивается сухость роговицы глаз, затем наступает размягчение и некротический распад роговицы. А-авитаминоз сопровождается сухостью кожи и слизистых оболочек в легких, кишеч-

нике и других органах, что благоприятствует проникновению микробов через слизистую оболочку и возникновению инфекций.

Одним из характерных признаков авитаминоза-А является куриная, или ночная слепота, т. е. значительное ослабление зрения с наступлением сумерек. Это связано с тем, что светочувствительность глаза зависит от пигмента, называемого зрительным пурпуром, или родопсином, который находится в сетчатке глаза и состоит из белка опсина и ретиналя (альдегидная форма спирта ретинола). На свету родопсин расщепляется и в сетчатке глаза накапливается свободный витамин А, а в темноте он переходит в связанное состояние. Поэтому при недостатке в пище витамина А нарушается восстановление родопсина и резко снижается чувствительность глаза к слабому освещению.

Кроме того, при А-авитаминозе наблюдается общее истощение организма, нарушаются механизмы иммунитета. Витамин А влияет на процессы регуляции проницаемости мембран, транспорт углеводов, усвоение белков пищи.

Витамин А имеет несколько витамеров, наиболее распространенным из которых является витамин А<sub>1</sub> (ретинол). Витамер А<sub>2</sub> отличается от А<sub>1</sub> наличием добавочной двойной связи в кольце. Биологическое же действие их одинаково.

Основными источниками витамина А служат яйца, сливки, коровье молоко, мясо, печень и жиры рыб, растительные продукты (морковь, перец), содержащие провитамины А – каротины.

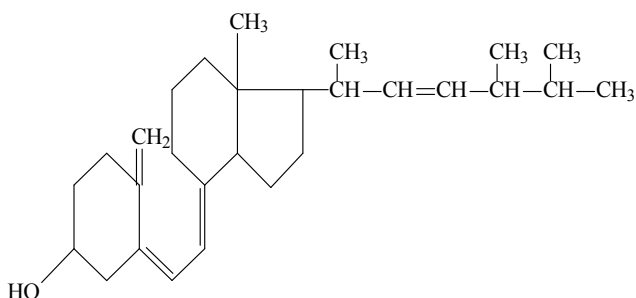
### **Витамин D (кальциферол, антирахитический)**

Изучение этого витамина было начато в 1916 г., впервые был синтезирован в 1931 г. Недостаток витамина D в пище приводит к возникновению у детей и молодняка сельскохозяйственных животных такого заболевания, как рахит. Важнейшим признаком рахита является нарушение процесса костеобразования, что приводит к размягчению кос-

тей до такой степени, что под влиянием тяжести туловища ноги искривляются. Нарушается нормальное развитие зубов. Мышцы становятся вялыми и расслабленными, отчего резко увеличивается живот.

У взрослых при недостатке витамина D и нарушении фосфорно-кальциевого обмена развивается заболевание остеомалация.

Наиболее распространенным в группе витаминов D является витамин D<sub>2</sub>. Это производные стероидов. Витамин D<sub>2</sub> образуется в организме при облучении ультрафиолетовыми лучами из провитамина 7-дегидрохолестерина.



Витамин D

Витамины группы D содержатся в значительных количествах в рыбьем жире, коровьем масле, в желтках куриных яиц, печени животных. Влияние витаминов группы D на обмен веществ выражается в том, что при недостатке витамина D затрудняется всасывание кальция и усиливается выделение фосфора с мочой, что приводит к нарушению костеобразования.

Потребность человека в витамине D зависит от возраста, условий жизни и соотношения солей фосфора и кальция в пище, в среднем до 25 мг/сутки.

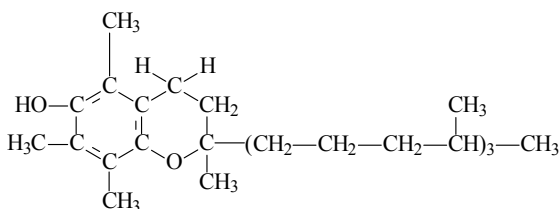
Избыточное введение витамина D с пищей приводит к гипервитаминозу, который проявляется в сильной жажде, потере аппетита, рвоте и других патологических явлениях.

**Витамин Е** (токоферол, витамин размножения). Потребность 30 мг/сутки.

Этот витамин был открыт позже других – в 1936 г., а в 1938 г. – синтезирован. Было замечено, что если крыс длительное время кормить цельным молоком, которое, как позже было установлено, не содержит токоферола, то у последних теряется способность к размножению.

Е-авитаминоз по-разному проявляется у особей разного пола. У самцов при Е-авитаминозе полностью теряется способность к воспроизводству вследствие потери подвижности сперматозоидов. У самок же оплодотворение обычно наступает, но нарушается способность к нормальному вынашиванию плода, поэтому беременность не протекает до конца.

Весьма характерным признаком Е-авитаминоза является перерождение мышечной ткани и омертвение (некроз) отдельных ее участков.



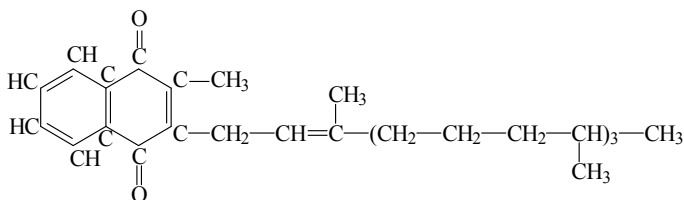
α-токоферол

По химической структуре витамин Е является высокомолекулярным гетероциклическим спиртом – токоферолом. Механизм действия витамина Е заключается в том, что он функционирует как активный переносчик электронов в реакциях окислительного фосфорилирования. Это один из самых сильных антиоксидантов – препятствует перекисному окислению липидов. Поскольку ненасыщенные липиды входят в состав биологических мембран, то усиление окисления липидов при снижении содержания токоферола ведёт к нарушению структуры и биологической роли мембран.

Витамин Е содержится в проросшем зерне, семенах злаков, желтке

яйца, сливочном масле, шиповнике.

**Витамин К** (филлохинон, антигеморрагический). Потребность – 10–15 мг/сутки



Филлохинон

При недостатке или отсутствии витамина в пище у животных и человека появляются подкожные или внутримышечные кровоизлияния – геморрагии. Так же наблюдается значительное снижение в крови протромбина, необходимого для свертывания крови.

Механизм действия витамина К заключается в том, что он способствует синтезу компонентов, участвующих в свертывании крови. Полагают, что витамин К входит в состав фермента, участвующего в синтезе протромбина, глобулярного белка, который постоянно находится в крови. Протромбин превращается в тромбин, а последний вызывает переход фибриногена в фибрин, что ведёт к свёртыванию крови. Витамин К вовлекается в биосинтез свёртывания крови, стимулируя ДНК-зависимый синтез соответствующей матричной РНК. Однако действие витамина К этим не ограничивается. Основная его функция состоит в переносе электронов при окислении органических соединений, сопряжённого с запасанием энергии у животных и в процессе фотосинтеза у растений.

Витамин К широко распространен в растениях (люцерна, шпинат, капуста, тыква, салат, ягоды рябины). Может быть синтезирован в организме кишечной микрофлорой.

В медицинской практике широко применяется бисульфитное производное витамина К – викасол. Он хорошо растворим в воде. Впервые



викасол был синтезирован в 1942 г. А. В. Палладиным и применяется для предотвращения больших кровопотерь при операциях.

**Витамин F** – эссенциальные полиненасыщенные жирные кислоты. Здесь под общим названием объединяются линолевая –  $C_{17}H_{31}COOH$ , линоленовая –  $C_{17}H_{29}COOH$ , арахидоновая –  $C_{19}H_{31}COOH$  кислоты. При исключении их из рациона крыс были получены характерные признаки F-авитаминоза: задержка роста и падение веса, сухость и шелушение кожи, выпадение шерсти. У человека F-авитаминоз наблюдается очень редко, а у животных может привести даже к бесплодию.

Арахидоновая кислота находится преимущественно в жирах животного происхождения, а линолевая и линоленовая составляют основу растительных масел. Витамин F способен депонироваться в печени, селезенке, надпочечниках. Витамин F необходим для регенерации кожного покрова и его нормального роста, а арахидоновая кислота необходима для важных предшественников гормонов – простагландинов.

Незаменимые жирные кислоты используются в тканях для биосинтеза важнейших липидов, которые входят в состав биологических мембран; способствуют удалению у человека и животных холестерина, что предупреждает развитие атеросклероза. Витамин F стабилизирует запасы витамина А и этим облегчает его действие на процессы метаболизма.

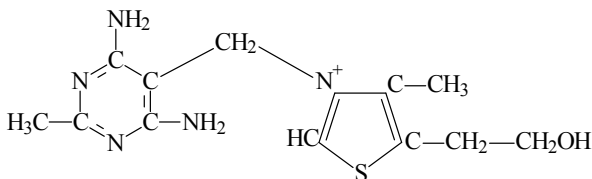
### ***Водорастворимые витамины***

Большинство водорастворимых витаминов проявляют биологическое действие в виде комплексных соединений с ферментами или ферментными системами, образуя коферменты, и так влияют на процессы метаболизма. Водорастворимые витамины в свою очередь можно разделить на две группы:

- 1) витамины группы В, куда входят более 15 представителей;
- 2) витамины группы С – аскорбиновая кислота и витамин Р.

**Витамин В<sub>1</sub>** (тиамин, аневрин)

В<sub>1</sub> – это первый кристаллический витамин, исследованный польским ученым К. Функом в 1912 г. Синтез этого витамина был проведен только в 1936 г.



Тиамин

При отсутствии в пище витамина В<sub>1</sub> у людей возникает заболевание бери-бери, у птиц и животных – полиневрит. Оба эти заболевания связаны с поражением нервных стволов. Наряду с этим резко изменяется сердечная деятельность, обнаруживаются нарушения в водном обмене, а также секреторной и моторной функций желудочно-кишечного тракта. Этот витамин очень устойчив в кислой среде. Выдерживает нагревание до 140°C при pH=3.

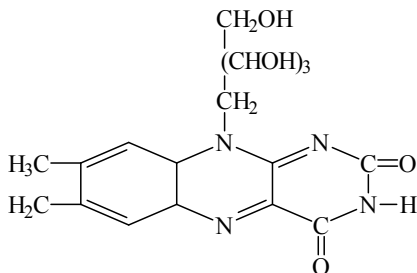
Роль витамина В<sub>1</sub> в обмене достаточно изучена. Он оказывает определенное влияние на углеводный обмен, т. к. входит в состав фермента, который называется карбоксилаза. Данный фермент катализирует расщепление промежуточного продукта углеводного обмена – ПВК. При недостатке В<sub>1</sub> эта кислота накапливается, что приводит к расстройству центральной нервной системы, которое проявляется в виде параличей, невритов, потери чувствительности.

Источником витамина В<sub>1</sub> являются в основном продукты растительного происхождения: мука грубого помола, неочищенный рис, горох, соя, отруби, гречневая крупа.

### **Витамин В<sub>2</sub> (рибофлавин)**

Рибофлавин – жёлтое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, разрушается ультрафиолетовым лучом. Впервые выделен из

молока. При отсутствии  $B_2$  происходит остановка роста, выпадение шерсти у животных и волос у человека. Главным признаком  $B_2$ -авитаминоза является заболевание глаз – сперва легкая утомляемость, затем вплоть до поражения роговицы и хрусталика. При недостатке  $B_2$  часто имеет место развитие анемии.



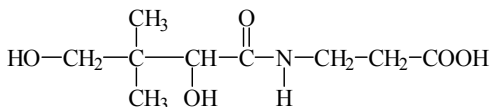
Рибофлавин

Витамин  $B_2$  входит в состав коферментов флавинмоноклеотида (ФМН) и флавиндинуклеотида (ФАД), принимающих участие в окислительно-восстановительных процессах, и принимает участие в образовании гемоглобина.

Особенно богатыми источниками витамина  $B_2$  являются пивные дрожжи, рыбная мука, коровье масло, молоко, печень, почки и сердечная мышца.

### **Витамин $B_3$** (пантотеновая кислота)

$B_3$  широко распространен как в растительном, так и животном мире и в норме находится во всех клетках и тканях организма. При гипо- и авитаминозах у животных и птиц развиваются специфические дерматиты и кератиты, дегенеративные изменения ряда органов и тканей, особенно желез внутренней секреции, наступает депигментация шерсти и перьев, потеря волос, повреждение почек и сердца, снижение иммунобиологической реактивности.

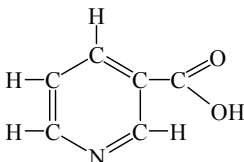


### Пантотеновая кислота

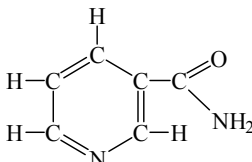
Роль пантотеновой кислоты в обмене веществ заключается в том, что она входит в состав коэнзима А, принимающего участие в окислении жирных кислот, а также пировиноградной и лимонной, т. е. выступает в качестве промежуточного вещества – метаболита, связывающего углеводный и жировой обмен.

В<sub>3</sub> содержится в больших количествах в дрожжах, яичном желтке; печени, мясе, молоке, зеленых частях растений. Много этого витамина в картофеле, помидорах, цветной капусте.

**Витамин В<sub>5</sub>** (РР, антипеллагрический, никотиновая кислота, никотинамид)



Никотиновая кислота



Никотинамид

Признаки В<sub>5</sub>-витаминной недостаточности можно охарактеризовать тремя Д:

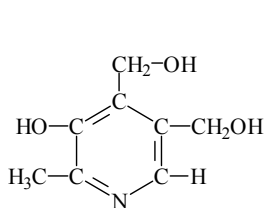
- дерматитис – дерматиты – специфические заболевания кожи;
- деменция – слабоумие;
- диарея – нарушение работы пищеварительного тракта (расстройства).

Заболевания чаще встречаются в тропической местности. У человека поражаются открытые участки кожи – лицо, руки, ноги. У животных это заболевание носит название "черный язык".

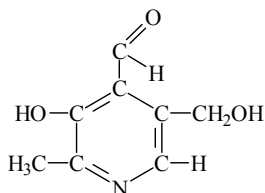
Механизм действия никотиновой кислоты и её амида сводится к их участию в качестве коферментов НАД и НАДФ в окислительно-восстановительных реакциях. НАД и НАДФ являются зависимыми дегидрогеназам.

Никотиновая кислота, или витамин В<sub>5</sub>, никакого отношения к никотину не имеет. Значительные количества никотиновой кислоты содержится в дрожжах, рисовых и пшеничных отрубях, печени, мясе, картофеле, гречке.

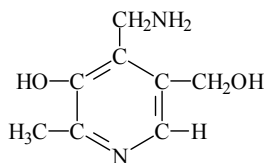
**Витамин В<sub>6</sub>** (пиридоксин, пиридоксаль, пиридоксамин, антидерматитный



Пиридоксол



Пиридоксаль



Пиридоксамин

Авитаминоз В<sub>6</sub> наблюдается у людей и животных. При этом характерно выпадение шерсти у животных, шелушение кожи, специфические дерматиты, подобные пеллагре как при недостатке витамина В<sub>5</sub>, но не поддающиеся лечению витамином В<sub>5</sub>.

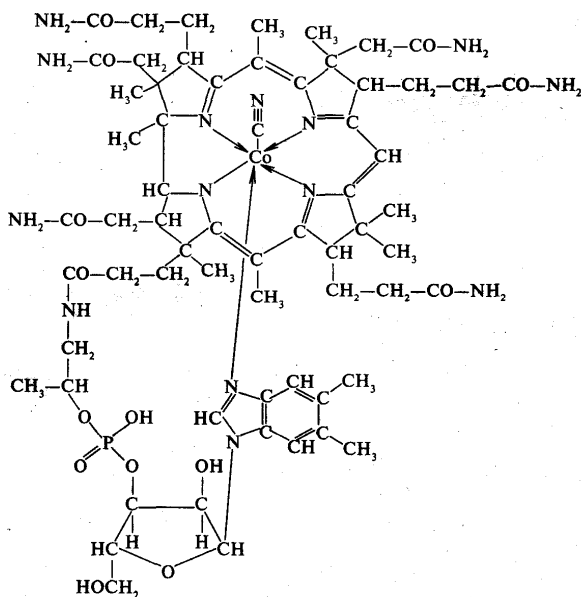
В<sub>6</sub> – белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в спирте и воде. Он устойчив по отношению к кислотам и щелочам, но разрушается под влиянием света.

Влияние витамина В<sub>6</sub> на процессы метаболизма выражается в том, что он входит в состав ферментов, катализирующих реакции переаминирования и декарбоксилирования аминокислот; принимает участие в превращении триптофана и серусодержащих аминокислот.

Содержится витамин В<sub>6</sub> в значительных количествах в отрубях, за-

родышах пшеницы, дрожжах, бобах, почках, печени.

### Витамин В<sub>12</sub> (кобаламин, антианемический)



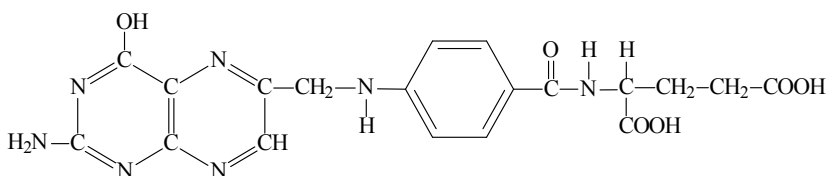
Кобаламин

Единственный витамин, который содержит в своем составе металл — кобальт. При недостатке или отсутствии этого витамина нарушается процесс кроветворения и развивается злокачественная анемия. Характерно также, что при В<sub>12</sub>-авитаминозе наблюдается резкое снижение кислотности желудочного сока. В<sub>12</sub> содержится в печени, почках, отходах промышленности антибиотиков и т.д. Роль его в обмене веществ сводится к тому, что он способен переносить метильные группы -CH<sub>3</sub>, участвует в синтезе пуриновых и пиримидиновых оснований, влияет на общий уровень обмена веществ.

Витамин В<sub>12</sub> синтезируется исключительно микроорганизмами, в том числе микрофлорой кишечника. В биосинтезе витамина В<sub>12</sub> принимает участие витамин В<sub>6</sub>.

### **Витамин В<sub>9</sub>** (фолиевая кислота, антианемический фактор)

Оказывает влияние на органы кроветворения. Большинство микроорганизмов, а также высшие и низшие растения способны синтезировать фолиевую кислоту, у животных и птиц она не образуется. Фолиевая кислота не оказывает эффективного влияния на процессы метаболизма, однако является предшественником некоторых коферментов, и в связи с этим играет важную роль в биосинтезе пуриновых и пиримидиновых оснований. Источником фолиевой кислоты служат дрожжи, грибы, салат, помидоры, зеленый лук, печень, почки, сыр.

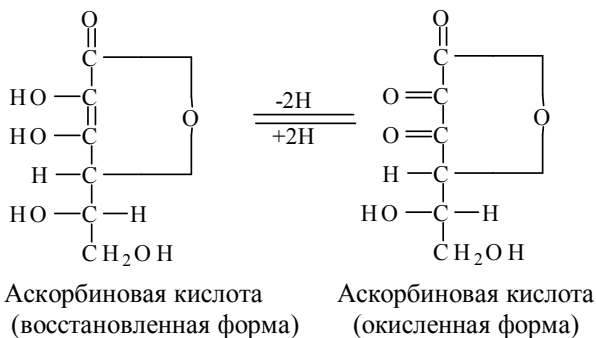


Фолиевая кислота

### **Витамин С** (аскорбиновая кислота, антицинготный)

При недостатке или отсутствии витамина С в пищевых продуктах развивается заболевание цинга. Характерным признаком цинги является поражение стенок кровеносных сосудов, повышение их проницаемости. Сосуды становятся хрупкими, поэтому на деснах и коже появляются мелкие кровоизлияния. При цинге наблюдается также повреждение костей и особенно зубов, которые расшатываются и выпадают. Цинга в запущенных случаях может закончиться смертью.

По химической природе аскорбиновая кислота близка к углеводам. В организме она может обратимо окисляться в дегидроаскорбиновую. Таким образом эти два соединения образуют окислительно-восстановительную систему, которая может как отдавать, так и присоединять электроны и протоны. Витамин С – белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, малоустойчиво.



Биологическая роль аскорбиновой кислоты разнообразна. Она принимает участие в синтезе соединительнотканых белков и белков костей, угнетает фермент, который расщепляет гиалуроновую кислоту. Последняя является склеивающим веществом стенок сосудов и капилляров. При недостатке витамина С происходит расщепление гиалуроновой кислоты и как следствие – признаки заболевания цинги – капилляры становятся хрупкими и ломкими. Аскорбиновая кислота оказывает воздействие на углеводный обмен, изменяя содержание гликогена в печени и сахара в крови; белковый и минеральный обмен; принимает участие в выработке гормонов коры надпочечников. При недостатке витамина С резко снижается устойчивость организма к инфекционным заболеваниям и некоторым ядам.

Больше всего витамина С содержится в черной смородине, плодах шиповника, апельсинах, лимонах, красном перце, землянике, капусте, картофеле. Суточная потребность человека в нем составляет 50 – 70 мг, для спортсменов – до 120 мг/сут.

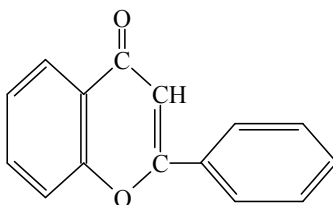
### **Витамин Р** (цитрин, витамин проницаемости)

По своей химической природе витамин Р относится к флавонам – глюкозидам растительного происхождения.

Под общим названием витамина Р объединяется группа веществ, обладающих общим биологическим действием – при отсутствии вита-



мина Р в пище повышается проницаемость кровеносных сосудов.



Флаван

Влияние на обмен веществ выражается в том, что вместе с аскорбиновой кислотой участвует в окислительно-восстановительных процессах, тормозит действие фермента гиалуронидазы, оказывает влияние на биосинтез нуклеопротеидов. Витамин Р предохраняет витамин С от разрушения. Суточная потребность в витамине Р равна 50 мг.

Содержится данный витамин в печени, яичном желтке, дрожжах, молоке, почках, сердце, в бобах, цветной капусте, пшеничной муке.

На основании изучения потребности крыс было высказано предположение, что ежедневная потребность человека составляет приблизительно 10 мкг биотина; возможно, однако, что нет реальной необходимости в поступлении биотина с пищей.

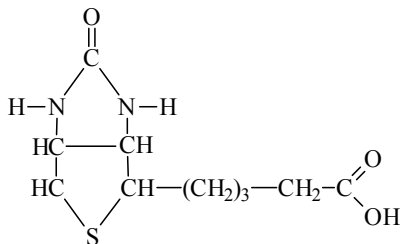
### 6.3 Витаминоподобные вещества и антивитамины

**Витаминоподобные вещества** — в эту группу входят различные химические соединения, которые частично синтезируются в организме и обладают витаминным действием. Однако некоторые из них могут выполнять и специфические функции или самостоятельно, или входя в состав других веществ.

#### Витамин Н (биотин)

Недостаток этого витамина вызывает заболевание под названием

"очковые глаза", сопровождающееся краснотой и шелушением кожи вокруг глаз, воспалением волос и ногтей.



Биотин

Витамин Н принимает участие в синтезе пуриновых оснований, ко-энзима А, АТФ, в реакциях карбоксилирования.

#### **Витамин В<sub>4</sub> (холин)**

Его недостаток вызывает специфичные расстройства липидного обмена.

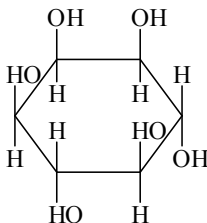


Холин

Содержится в значительных количествах в мясе, различных злаках. Поступая через биологические мембраны в клетки, он принимает участие в биосинтезе ацетилхолина и фосфатидов и поставляет подвижные метильные группы –  $\text{CH}_3$  при различных реакциях трансминирования.

#### **Витамин В<sub>8</sub> (инозит)**

Недостаток вызывает задержку роста у молодняка, облысение и специфические расстройства нервной системы.



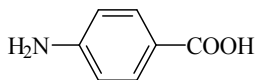
Инозит

У человека заболевания, связанные с витамином В<sub>8</sub>, не установлены.

Наиболее богаты этим витамином продукты животного происхождения.

Биологическая роль инозита определяется его участием в биосинтезе инозитфосфатидов. В процессе метаболизма он выступает как липотронный фактор – при его недостатке увеличивается содержание триглицеридов и снижается уровень фосфолипидов.

**Парааминобензойная кислота (ПАБК)** является одним из факторов роста микроорганизмов. Она необходима также для животных и человека. При недостатке или отсутствии этого витамина наступает поседение волос, облысение и выпадение волос. Она входит в состав другого витамина – фолиевой кислоты, и в этом её значение. ПАБК активизирует биосинтез пуринов и пиримидинов, оказывает влияние на функцию щитовидной железы.



Парааминобензойная кислота

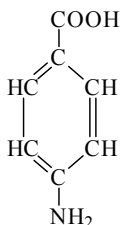
Содержится ПАБК в печени, сердце, почках, яйцах, дрожжах, овощах, грибах, картофеле, моркови, шпинате.

**Антивитамины** – это вещества, близкие по своей химической природе к витаминам, но не обладающие их свойствами. Благодаря близости к химической структуре витаминов, антивитамины вытесняют их из биохимических систем, занимают их место. Сами же не способны выполнять те биохимические функции, которые осуществляют витамины.

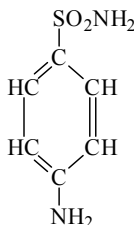
Предлагают, что в основе действия антивитаминов лежит замещение соответствующего витамина из его комплекса в ферментативной системе, в результате чего возникает недеятельный фермент. Типичным примером подобного антивитамина является стрептоцид и аналогичные

ему так называемые сульфаниламидные препараты.

**Стрептоцид** по химической структуре близок с ПАБК. Угнетающее действие стрептоцида объясняется тем, что последний в силу своего сходства с ПАБК вступает в соединение с ферментом, с которым в процессе обмена реагирует ПАБК.

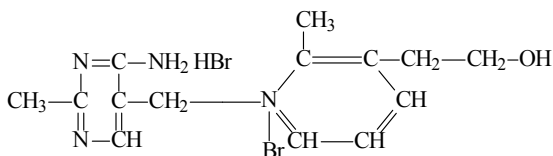


Парааминобензойная  
кислота



Стрептоцид

**Пиритиамин** является антивитаминном для тиамина (В<sub>1</sub>). Пиритиамин отличается от тиамина тем, что группа S- замещена группой –CH=CH–



- а) витамин А;
- б) витамин D;
- в) витамин Е;
- г) витамин К;
- д) витамин F .

4 Охарактеризуйте водорастворимые витамины:

- а) витамин В<sub>1</sub>;
- б) витамин В<sub>2</sub>;
- в) витамин В<sub>3</sub>;
- г) витамин В<sub>5</sub>;
- д) витамин В<sub>6</sub>;
- е) витамин В<sub>12</sub>;
- ж) витамин С;
- и) витамин Р;
- к) витамин Н.

5 Витаминоподобные вещества.

6 Антивитамины.

## **Лабораторная работа**

### **Витамины**

**Цель:** Изучить химические свойства некоторых наиболее важных водорастворимых витаминов

**Оборудование и реактивы:** Пробирки; флуориметр; 1 %-ный раствор сульфаниловой кислоты (в 2 %-ном растворе соляной кислоты); нитрит натрия; 10 %-ный раствор карбоната натрия; 5 %-ный раствор гексацианоферрата (III) калия; 10 %-ный раствор гидроксида натрия; изобутиловый спирт; 0,25 %-ная взвесь рибофлавина; соляная кислота (концентрированная); металлический цинк; порошок никотиновой кислоты; 10 %-ный раствор уксусной кислоты; 5 %-ный раствор ацетата

меди; 1 %-ный раствор пиридоксина; 0,01 %-ный раствор метиленовой сини; 1 %-ный раствор аскорбиновой кислоты.

## **Ход работы**

### **Опыт 1 Диазореакция на тиамин**

К 5 каплям 1 %-ного раствора сульфаниловой кислоты (в 2 %-ном растворе соляной кислоты) прибавляет 5 капель раствора нитрита натрия. К полученному таким образом диазореактиву прибавляют 5 капель раствора или немного (на кончике шпателя) порошка тиамина и 5–6 капель 10 %-ного раствора карбоната натрия. При перемешивании жидкость окрашивается в оранжевый, розовый или красный цвет.

### **Опыт 2 Окисление тиамина в тиохром**

Небольшое количество порошка (на кончике шпателя) тиамина растворяют в 6–8 каплях воды, прибавляют 1–2 капли 5 %-ного раствора гексацианоферрата (III) калия и 5–6 капель 10 %-ного раствора гидроксида натрия или калия. Содержимое пробирки перемешивают и немного нагревают. Раствор окрашивается в желтый цвет вследствие окисления тиамина в тиохром. Последний экстрагируют 1 мл бутилового или изобутилового спирта. В ультрафиолетовом свете отчетливо наблюдается голубая или синяя флуоресценция верхнего (спиртового) слоя.

### **Опыт 3 Восстановление рибофлавина**

К 8–10 каплям 0,025 %-ной взвеси рибофлавина в воде добавляют 5–6 капель концентрированной соляной кислоты и гранулу металлического цинка. Под влиянием выделяющегося водорода желтая жидкость постепенно окрашивается в зеленый, розовый цвет, затем обесцвечивается. При стоянии в верхнем слое жидкости вновь появляется желтое окрашивание (окисление лейкофлавина в рибофлавин кислородом воздуха).

### **Опыт 4 Реакция никотиновой кислоты с ацетатом меди (II)**

5–10 мг порошка никотиновой кислоты растворяют при нагревании

в 15–20 каплях 10 %-ного раствора уксусной кислоты. К нагретому до начала кипения раствору прибавляют 15–20 капель 5 %-ного раствора ацетата меди (II). Появляется голубая муть. При стоянии выпадает синий осадок медной соли никотиновой кислоты.

#### **Опыт 5 Реакция пиридоксина с хлорным железом**

К 6–8 каплям 1 %-ного раствора пиридоксина прибавляют 5–6 капель 1 %-ного раствора хлорида железа (III) и перемешивают. Развивается красная окраска.

#### **Опыт 6 Исследование восстановительных свойств аскорбиновой кислоты**

а) *Реакция с метиленовой синью.* В две пробирки помещают по 2–3 капли 0,01 %-ного раствора метиленовой сини и 3–4 капли 10 %-ного раствора карбоната натрия. В одну из пробирок добавляют 10–12 капель 1 %-ного раствора аскорбиновой кислоты (или вытяжки из шиповника), в другую – столько же воды к одновременно нагревают. В пробирке с раствором аскорбиновой кислоты жидкость обесцвечивается;

б) *Реакция с гексацианоферратом (III) калия.* К 8–10 каплям 1 %-ного раствора аскорбиновой кислоты прибавляют 1 каплю 10 %-ного раствора гексацианоферрата (III) калия. Содержимое пробирки перемешивают, затем добавляют к нему 5–6 капель 10 %-ного раствора соляной кислоты и 1–2 капли 1 %-ного раствора хлорида железа (III). Выпадает синий (или сине-зелёный) осадок берлинской лазури.

#### **Тест**

1 Какова химическая природа витаминов?

- а) высокомолекулярные органические соединения;
- б) низкомолекулярные органические соединения;
- в) неорганические соединения;

- г) ферменты;
- д) небиологические катализаторы.

2 Что такое провитамины?

- а) запасные вещества организма;
- б) продукты превращения витаминов в результате их участия в метаболических процессах;
- в) функциональные группы витаминов;
- г) близкие к витаминам по химическому строению соединения, из которых в клетках организма синтезируются собственно витамины;
- д) простетические группы ферментов.

3 Каковы пути регуляции витаминами метаболических процессов?

- а) входят в состав простетических групп ферментов;
- б) участие в подавляющем большинстве химических реакций в организме;
- в) активация ферментов;
- г) входят в состав гормонов;
- д) непосредственное участие в клеточном обмене веществ через окислительно-восстановительные реакции.

4 Какую из групп витаминов называют антиксерофтальмической?

- а) витамины группы А;
- б) витамины группы В;
- в) витамины группы D;
- г) витамины группы Е;
- д) витамин Р;
- е) витамины группы К.

5 Недостаток которого из витаминов вызывает заболевание цингой?

- а) витамины группы А;
- б) витамин В<sub>12</sub>;
- в) витамины группы D;



- г) витамины группы E;
- д) витамин C;
- е) витамин PP;
- ж) витамины группы K.

6 Какой из витаминов обладает следующими свойствами: производный стерина, образуется при облучении ультрафиолетовым светом, при его недостатке нарушается всасывание кальция в кишечнике, процесс костеобразования, задерживается рост?

- а) витамины группы A;
- б) витамины группы B;
- в) витамины группы D;
- г) витамины группы E;
- д) витамин C;
- е) витамин P;
- ж) витамины группы K.

7 Какие признаки лежат в основе классификации витаминов?

- а) количество мономеров в макромолекуле;
- б) физиологическое действие;
- в) растворимость в воде и жирах;
- г) наличие определенных функциональных групп;
- д) способность активировать те или иные ферменты.

8 Что такое авитаминоз?

- а) полное отсутствие витамина в организме;
- б) недостаточное для нормального функционирования организма содержание витамина;
- в) пониженное содержание витамина в биологических жидкостях (крови, лимфе, моче);
- г) повышенное содержание витамина в биологических жидкостях;
- д) высокое содержание витамина в организме в связи с его из-

быточным поступлением с пищей.

9 Какой из витаминов называют витамином проницаемости?

- а) витамин A<sub>1</sub>;
- б) витамин B<sub>1</sub>;
- в) витамин D<sub>3</sub>;
- г) витамины группы E;
- д) витамин PP;
- е) витамин P;
- ж) витамины группы K.

10 Недостаток которого из витаминов вызывает заболевание рахитом?

- а) витамины группы A;
- б) витамин B<sub>1</sub>;
- в) витамины группы D;
- г) витамины группы E;
- д) витамин C;
- е) витамины группы P;
- ж) витамины группы K.

11 Какие из перечисленных особенностей можно отнести к характеристикам витаминов?

- а) обладают низкой биологической активностью;
- б) обладают высокой биологической активностью;
- в) включаются в структуры тканей организма человека и животных;
- г) не включаются в структуры тканей организма человека и животных;
- д) не используются в качестве источника энергии;
- е) используются в качестве источника энергии;
- ж) как правило, не могут быть синтезированы организмом человека;
- и) как правило, могут быть синтезированы организмом человека.

12 Что такое гиповитаминоз?

- а) полное отсутствие витамина в организме;
- б) недостаточное для нормального функционирования организма содержание витамина;
- в) пониженное содержание витамина в биологических жидкостях (крови, лимфе, моче);
- г) повышенное содержание витамина в биологических жидкостях;
- д) высокое содержание витамина в организме в связи с его избыточным поступлением с пищей.

13 Которые из перечисленных витаминов относятся к группе водорастворимых?

- а) витамины группы А;
- б) витамины группы В;
- в) витамины группы D;
- г) витамины группы Е;
- д) витамин С;
- е) витамины группы Р;
- ж) витамины группы К.

14 Недостаток которого из витаминов вызывает заболевание "бери-бери"?

- а) витамины группы А;
- б) витамин В<sub>1</sub>;
- в) витамины группы D;
- г) витамин В<sub>6</sub>;
- д) витамин С;
- е) витамины группы Р;
- ж) витамины группы К.

15 Какой из витаминов обладает следующими свойствами: производный нафтохинона, при его недостатке увеличивается количество

протромбина (компонент ферментной системы свертывания крови), синтезируется бактериальной флорой кишечника?

- а) витамины группы А;
- б) витамины группы В;
- в) витамины группы D;
- г) витамины группы Е;
- д) витамин С;
- е) витамин Р;
- ж) витамины группы К.

## Тема 7 Гормоны

### 7.1 Общая характеристика гормонов

### 7.2 Классификация и механизм действия гормонов

### 7.1 Общая характеристика гормонов

В процессе эволюции с возникновением многоклеточных организмов для обеспечения взаимодействия между клетками возникли нервная и эндокринная системы. Эти две системы регулируют функции организма, взаимодействуя между собой.

В эндокринную систему входят специальные железы, клетки которых выделяют во внутреннюю среду организма, т.е. в кровь и лимфу, химические регуляторы, получившие название гормонов. Термин "гормон" был предложен У. Бэйлисом и Э. Старлингом в 1902 году.

**Гормоны** – это органические соединения различной химической природы, вырабатываемые эндокринными железами (или железами внутренней секреции), которые транспортируются кровью и лимфой к клеткам мишеням и активно влияют на процессы жизнедеятельности.

Как исключение, некоторые гормоны могут образовываться и непосредственно в клетках и других органах и тканях.

Гормоны, как и витамины, проявляют высокую биологическую активность в очень малых количествах, и это воздействие имеет ряд особенностей:

- строгая специфичность биологического действия – один гормон нельзя заменить другим;
- дистанционность действия – способность оказывать действие на значительном расстоянии от места их образования;
- относительно небольшой период жизни.

Гормоны, подобно витаминам, не являются ни пластическим, ни энергетическим материалом, однако, воздействуя на специализированные клетки мишени определенных органов или тканей, способны проявлять биологическую активность и интегрировать сложный процесс метаболизма путем изменения скорости ферментативных реакций.

В настоящее время считают, что гормоны являются активаторами или ингибиторами ферментов, изменяют проницаемость клеточных мембран, влияют на состояние митохондрий, в которых наиболее интенсивно протекают важнейшие процессы обмена веществ. Продукты превращения некоторых гормонов в соединении с белком приобретают каталитические свойства, становясь ферментами. Необходимо отметить, что деятельность эндокринных желез не автономна, а находится под контролем центральной нервной системы. Под прямым контролем нервной системы находятся не все гормоны, а лишь мозговое вещество надпочечников и гипоталамус, другие железы внутренней секреции связаны с нервной системой через гормоны гипоталамуса и гипофиза.

К железам внутренней секреции относятся: щитовидная, паращитовидная, поджелудочная, надпочечники, гипофиз, половые железы, зубная или вилочковая железа. Заболевания, связанные с нарушением функций эндокринных желез, можно рассматривать как следствие гипопункции железы – недостаточное образование гормона, либо гиперфункции ее – избыточное выделение гормона в кровь. Хирургическое удаление некоторых эндокринных желез (надпочечников, поджелудочной железы, околощитовидных желез) приводит к гибели организма. Удаление других желез изменяет те или иные функции организма, но не опасно для жизни. Как известно, кастрация животных (удаление половых желез) широко практикуется в сельском хозяйстве. Таким образом, различные эндокринные железы по своему значению для организма не

равноценны. Из числа их особо следует выделить гипофиз, выделяющий большое количество различных гормонов и регулирующий деятельность многих других эндокринных желез.

## 7.2 Классификация и механизм действия гормонов

По химическому строению гормоны разделяют на группы.

*Амины, или пептидные гормоны* (инсулин) – имеют большую молекулярную массу. По химической природе являются белками и оказывают кратковременный эффект, но быстрый – их действие проявляется уже через несколько минут. Они не проникают внутрь клетки, а действуют через специфические рецепторы, связанные с ферментом аденилатциклазой, которая расщепляет АТФ после присоединения гормона и далее через систему сложных реакций происходит активация определенных ферментов внутри клетки, которые и осуществляют конечный эффект гормона. Описанный механизм гормонального действия аминов или пептидов можно представить следующей схемой (рисунок 2):



Рисунок 2 – Механизм действия пептидных гормонов

Пептидные гормоны синтезируются в нейросекреторных клетках головного мозга (гипофизе, гипоталамусе), щитовидной, парашитовид-

ной и поджелудочной железах. Представители: инсулин, глюкагон, вазопрессин, паратгормон, кальцитонин, соматотропин и др.

*Стероидные гормоны* имеют относительно небольшой размер молекул, поэтому проникают внутрь клетки и с помощью специфических переносчиков – рецепторов транспортируются из цитоплазмы в клеточное ядро. В ядре гормон обратимо взаимодействует со специфическим участком ДНК, активирует определенный ген и индуцирует (посредством синтеза информационной РНК) биосинтез белка-фермента на рибосомах. Этот новый фермент реализует конечный гормональный эффект. Стероидные гормоны обеспечивают длительный эффект (рисунок 3).

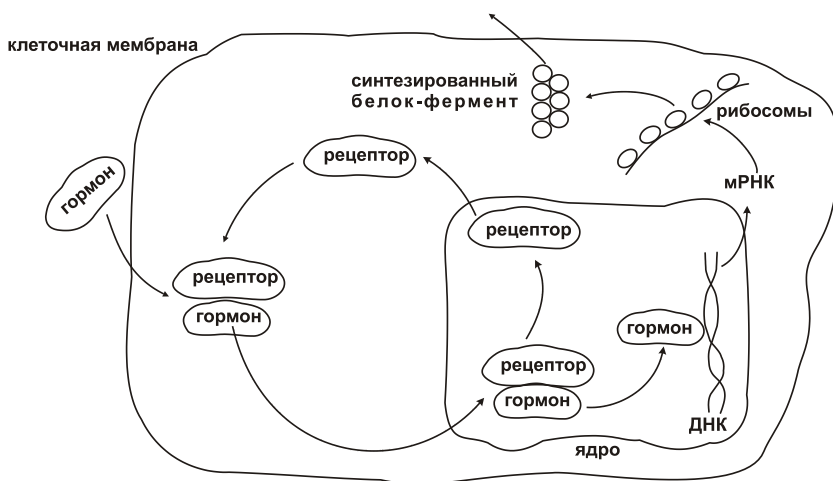


Рисунок 3 – Механизм действия стероидных гормонов

К этой группе принадлежат гормоны, являющиеся производными полициклических спиртов – стеролов. Их синтез происходит в надпочечниках, семенниках, яичниках и некоторых других органах и тканях. Представители: альдостерон, гидрокортизон, кортикостерон, тестостерон и др.

Стероидные соединения, обладающие анаболическим действием, применяются в качестве биологических стимуляторов. В спорте анаболические стероиды стали широко применяться в 50-е годы прошлого



столетия. Сначала их применяли тяжелоатлеты и культуристы, затем – метатели и толкатели. Регулярное применение анаболических стероидов оказалось довольно эффективным.

Термин «анаболический» означает, что эти соединения усиливают синтез или уменьшают деградацию цитоплазматических белков и стимулируют рост тканей в целом.

Все стероиды обладают андрогенным действием – при длительном их применении они в той или иной степени оказывают угнетающее влияние на деятельность мужских половых желез, нарушению нормальной половой жизни спортсмена. Женщины более чувствительны к таким препаратам. Данные препараты включены в список допингов (таблица 2).

Таблица 2 – Стероидные гормоны, используемые для оценки функционального состояния спортсменов

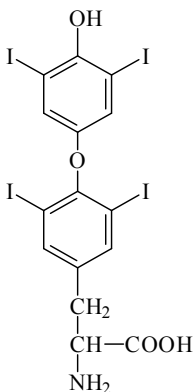
Гормон	Концентрация в 1 мл крови	Биологическое действие
Альдостерон	20-100 нг	Регулирует обмен натрия
Гидрокортизон	50-100 нг	Регулирует гликогенолиз и деградацию белков в скелетных мышцах
Кортикостерон	1,3-23 нг	Регулирует гликогенолиз и деградацию белков в скелетных мышцах
Тестостерон: мужчины женщины	3-13 нг 0,1-0,3 нг	Регуляция сперматогенеза; общее анаболическое действие

*Прочие гормоны.* Эту группу составляют гормоны, не относящиеся к первым двум категориям. Синтезируются они в щитовидной железе, надпочечниках, репродуктивных органах и в некоторых тканях. Сюда относят: адреналин и норадреналин, тироксин и трийодтиронин.

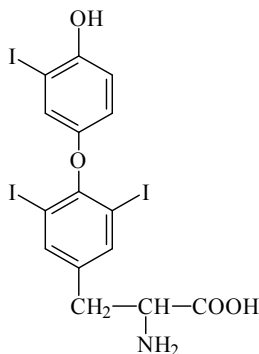
## Щитовидная железа

Вырабатывает гормоны тироксин, трийодтиронин, а также кальцитонин.

Впервые они были получены в 1914 г., а в 1926 была установлена их химическая формула. Первых два в своем составе имеют  $I_2$ .



Тироксин



Трийодтиронин

Гипофункция щитовидной железы (недостаток) у детей приводит к замедлению обменных процессов, карликовому росту, уродливому строению тела и резкой задержке умственного развития – кретинизму. У взрослых вызывает заболевание – микседему, которая чаще встречается у женщин и характеризуется понижением водно-солевого, основного и жирового обмена, отечностью, ожирением и старческим видом. При недостатке  $I_2$  в пище и воде развивается эндемический зоб – наблюдается резкое увеличение железы за счет ее глубокого перерождения. Профилактика этого заболевания – введение в пищу  $I_2$ .

При гиперфункции (избытке) гормонов щитовидной железы развивается Базедова болезнь, которая характеризуется повышением общего обмена и температуры тела, учащением пульса, пучеглазием.

Кальцитонин – способен снижать содержание кальция в крови за счет торможения выделения кальция из костной ткани.

## **Паращитовидные железы**

Очень маленькие железы, но играют важную физиологическую роль. Из них был выделен паратгормон – полипептид, состоящий из 84 аминокислотных остатков с молекулярной массой 8500, который повышает уровень кальция в крови. Его эффект противоположный кальцитонину. Кроме того, паратгормон влияет на возбудимость нервной системы. Вероятно, паратгормон совместно с витамином D и кальцитонином осуществляет контроль над распределением кальция, фосфора и магния между костями, тканями и жидкостями организма.

## **Поджелудочная железа**

Это железа смешанной секреции. Функционируя как железа внешней секреции, она выделяет поджелудочный, или панкреатический сок, содержащий пищеварительные ферменты. Как железа внутренней секреции выделяет гормоны: инсулин, глюкагон и липокаин, соматостатин.

Инсулин по своей химической природе является белком с молекулярным весом 6000. Его молекула состоит из 2-х полипептидных цепей, соединенных дисульфидными мостиками. Химическая структура гормона была расшифрована Сэнгером в 1955 г., а в 1963 г. инсулин был получен синтетическим путём. Инсулин стимулирует систему, транспортирующую глюкозу через клеточную мембрану, главным образом в мышечных клетках; тормозит избыточное расщепление гликогена в печени и мышцах.

Недостаток инсулина в организме влечет за собой нарушение усвоения и использования углеводов; уровень сахара в крови повышается (гипергликемия), и значительная его часть теряется с мочой (глюкозурия), развивается тяжелое заболевание – сахарный диабет. При сахарном диабете глубоко расстраивается не только углеводный, но и белковый и жировой обмены. При отсутствии лечения болезнь заканчивается

смертью. Жизнь может быть сохранена только систематическим введением инсулина, минуя пищеварительный тракт. Инсулин способствует транспорту в клетки аминокислот и стимулирует биосинтез белка.

Глюкагон – одноцепочечный полипептид, состоящий из 20 аминокислотных остатков. Он также влияет на углеводный обмен, но действие его противоположно инсулину – он повышает содержание глюкозы в крови и стимулирует образование гликогена в печени. Помимо действия на углеводный обмен, глюкагон стимулирует липолиз в жировой ткани, который приводит к освобождению жирных кислот. Жирные кислоты поступают в качестве энергетического материала в печень и мышцы.

В конечном итоге роль инсулина и глюкагона сводится к поддержанию баланса глюкозы и других питательных веществ в крови и тканях.

Липокаин – это регулятор обмена липидов, усиливает расщепление жиров в печени, окисление жирных кислот. При его отсутствии развивается тяжелое ожирение печени.

Соматостатин по физиологическому действию идентичен соматостатину гипоталамуса.

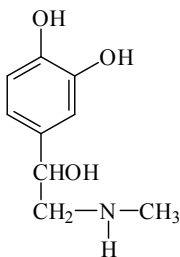
### **Надпочечники**

Надпочечники являются парными органами и состоят из двух морфологически разных слоев: внешнего коркового слоя и внутреннего – мозгового. Каждый из двух слоев обладает самостоятельной внутрисекреторной функцией.

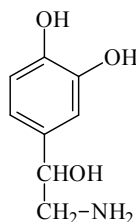
*Гормоны мозгового слоя надпочечников* – это адреналин и норадреналин. Материалом для их образования служит аминокислота тирозин.

Адреналин – очень нестойкое вещество, легко окисляется. В тканях организма он подвергается превращениям с образованием различных веществ (адренохром, оксиадренохром), которые в соединении с белками приобретают способность катализировать различные окислительные

процессы. У взрослых людей адреналина образуется в 10 раз больше, чем норадреналина.



Норадреналин



Адреналин

Норадреналин – по химической природе близок к адреналину и является его предшественником. Он всегда присутствует в мозговом веществе надпочечников и, кроме того, он образуется и выделяется в окончаниях симпатических нервов. Поэтому результаты действия адреналина и норадреналина совпадают с эффектом раздражения симпатических нервов. Адреналин и норадреналин, также как и инсулин, влияют на углеводный обмен, однако при избыточном поступлении их в кровь возникает противоположный эффект – резко повышается содержание глюкозы в крови (в норме содержание глюкозы составляет глюкозы 80 мг на 100 мл крови). В спокойном состоянии содержание адреналина в крови животных и человека невелико. Однако при физических напряжениях, охлаждениях, причинении боли, при резком эмоциональном возбуждении или стрессе повышается содержание адреналина в крови, что приводит к увеличению внутренних сил организма для ответной реакции. При этом происходит сильное сужение периферических кровеносных сосудов и учащение сокращения сердца, повышение кровяного давления. Под действием адреналина усиливается газообмен, теплопродукция, повышается интенсивность окислительных процессов. У человека адреналин играет существенную роль при подготовке его к выполнению повышенных нагрузок.

Норадреналин является предшественником адреналина и в меньшей степени влияет на повышение содержания глюкозы в крови.

При недостаточном функционировании надпочечников или их поражении у человека наблюдается темная пигментация кожи, которая получила название бронзовой, или аддисоновой болезни.

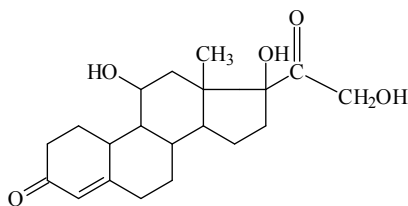
*Гормоны коры надпочечников.* Из коры выделено большое количество гормонов, получивших общее название кортикостероидов. Всего выделяется около 40 гормонов, из них 8 физиологически активных и только три постоянно выделяются в кровь. Это гидрокортизон, кортикостерон и альдостерон.

По химической природе стероиды являются производными циклопентанпергидрофенантрена, имеют кетонную группу у третьего и двойную связь между четвертым и пятым углеродными атомами. Отличаются они различной степенью окисленности, что и определяет их неодинаковое биохимическое действие.

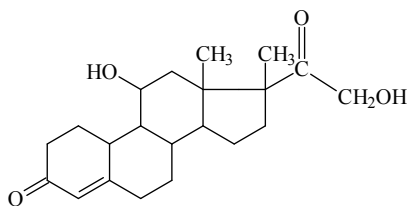
Гидрокортизон – при его избытке резко усиливается превращение аминокислот в углеводы, возрастает синтез гликогена и жиров, повышается содержание глюкозы в крови и, как следствие, развивается ожирение туловища, атрофируются мышцы, кости скелета становятся хрупкими, а конечности – худыми. Известно действие гидрокортизона и на форменные элементы крови и противовоспалительное действие.

Кортикостерон – при его недостатке наступает нарушение в обмене углеводов, белков, липидов и минеральных элементов. Это приводит к сердечной недостаточности, развитию отеков, мышечной слабости.

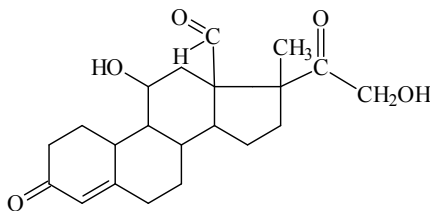
Альдостерон – регулирует обмен электролитов и воды. Альдостерон активирует натриевый насос в почках и изменяет проницаемость клеток для натрия; поддерживает оптимальный баланс между содержанием натрия и воды в клетках мышц, печени и мозга, оказывает влияние на содержание калия в плазме.



Гидрокортизон



Кортикостерон



Альдостерон

Под действием кортикостероидов увеличивается активность ряда ферментов (аргиназы, альдолазы, щелочной фосфатазы и др.).

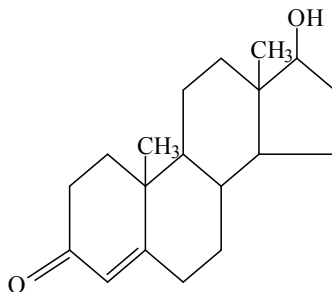
Выделение кортикостероидов увеличивается при воздействии на организм различных повреждающих агентов (высокая и низкая температуры, недостаток кислорода, инфекции, отравления, перенапряжения организма при тяжёлой мышечной деятельности и т. п.). Это является проявлением одной из защитных реакций организма, т. к. сопровождается повышением устойчивости его к повреждающим факторам.

### Половые железы

Половые гормоны вырабатываются половыми железами: семенниками и яичниками. Удаление половых желез – кастрация – было известно давно и применялось у животных для повышения их упитанности и для лучшего использования рабочего скота. Однако в середине 19 столетия было выяснено, что половые железы оказывают влияние на развитие вторичных половых признаков, рост, нервную систему, уровень окислительных процессов и т. д. Все половые гормоны являются произ-

водными холестерина и, кроме специализированных желез, частично могут вырабатываться в корковом слое надпочечников.

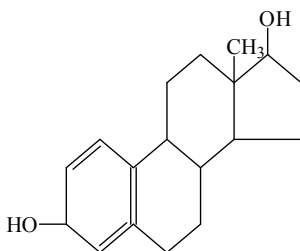
Выделено несколько веществ, обладающих действием мужских половых гормонов: андростерон, дегидроандростерон, тестостерон. Наиболее активным является тестостерон.



Тестостерон

Мужские половые гормоны обеспечивают нормальный рост мужских половых органов, развитие вторичных половых признаков у мужчин. Недостаток тестостерона, кроме того, ведет к замедлению биосинтеза белков, развитию ожирения, исчезновению волосяного покрова.

Женские половые гормоны отличаются от мужских отсутствием метильной группы ( $-\text{CH}_3$ ) у шестого атома углерода. Известно несколько женских половых гормонов. Из них наиболее активны эстрадиол, эстрон, эстриол.



Эстрадиол



Кроме того, жёлтое тело женских особей секретирует прогестерон и релаксин. Релаксин – полипептид с молекулярной массой 6 000. Он подготавливает матку и тазовые сочленения к родам. Прогестерон необходим для подготовки слизистой оболочки матки при закреплении оплодотворённого яйца.

Женские половые гормоны оказывают влияние на формирование вторичных половых признаков в период полового созревания, развития половых органов, обеспечивают детородную функцию женщин, формирование половых инстинктов, протекание беременности и родового акта, а также на развитие молочных желез и подготовки их к лактации. Кроме того, половые гормоны усиливают окислительные процессы в организме.

### **Гипофиз**

Это одна из важнейших желез внутренней секреции. Анатомически гипофиз разделяют на три доли, каждая из которых выделяет в кровь присущие ей гормоны.

*Гормоны передней доли гипофиза.* Соматотропин – гормон роста, влияет на рост всего организма. Недостаточное поступление гормона вызывает замедление роста, повышенное – усиленный рост всего организма (гигантизм) или его отдельных частей (акромегалия). Гормон роста влияет на белковый и углеводный обмены.

Адренокортикотропный гормон – гормон белковой природы, образованный 39 остатками аминокислот. Стимулирует кору надпочечников, участвует в биосинтезе кортикостероидов и является веществом, повышающим устойчивость организма к повреждающим факторам (неблагоприятным воздействиям окружающей среды).

Тиреотропный гормон – стимулирует функцию щитовидной железы, влияет на скорость поглощения  $I_2$  из крови в щитовидной железе. Серусодержащий гликопротеид состоит из двух субъединиц с молеку-

лярной массой 13 600 и 14 700.

Гонадотропные гормоны – фолликулостимулирующий, лютеинизирующий и пролактин. У женских особей фолликулостимулирующий гормон стимулирует развитие фолликулов; у самцов необходим для развития семенных канальцев. Лютеинизирующий гормон влияет на окончательное созревание фолликулов, разрыв фолликула и превращение его в жёлтое тело. Пролактин стимулирует образование молока. Все они оказывают влияние на процессы полового созревания и влияют на гормональную функцию половых желез.

Липотропины – полипептиды, оказывающие влияние на высвобождение жирных кислот из жировой ткани.

*Гормоны задней и средней долей гипофиза.*

Задняя доля гипофиза выделяет в кровь два гормона – вазопрессин, повышающий кровяное давление и уменьшающий диурез, и окситоцин, вызывающий сокращение гладкой мускулатуры (а у женщин сокращение мускулатуры матки во время родов). Оба они полипептиды по своей химической природе. Средняя доля гипофиза выделяет интермедию, который регулирует развитие пигментированных клеток в организме, и когерин – полипептид, оказывающий влияние на сократительную функцию кишечника.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Приведите общую характеристику гормонов?
- 2 Классификация и механизм действия гормонов?
- 3 Дайте краткую характеристику гормонам:
  - а) щитовидной железы;
  - б) паращитовидной железы;
  - в) поджелудочной железы;
  - г) надпочечников;

- д) гипофиза;
- е) половых желез.

## **Лабораторная работа**

### **Гормоны**

**Цель:** Изучить химические свойства гормонов

**Оборудование и реактивы:** Пробирки; флуориметр; инсулин; 10 %-ный раствор гидроксида натрия; 10 %-ный раствор сульфата меди (II); 30 %-ный раствор гидроксида натрия; 5 %-ный раствор ацетата свинца (II); азотная кислота (концентрированная); таблетки тиреоидина; 2 %-ный раствор йодата калия; раствора адреналина; 10 %-ный раствор уксусной кислоты; 1 %-ный раствор крахмала; диазореактив (3 капли 1 %-ного раствора сульфаниловой кислоты в 2 %-ном растворе соляной кислоты и 3 капли раствора нитрита натрия); 10 %-ный раствор уксусной кислоты; 2 %-ный раствор дихромата калия.

### **Ход работы**

#### **Опыт 1 Доказательство белковой природы инсулина**

##### *Биуретовая реакция*

К 8–10 каплям раствора инсулина прибавляют 6–8 капель 10 %-ного раствора гидроксида натрия и 1–2-капли 1 %-ного раствора сульфата меди (II). Появляется сине-фиолетовое или красно-фиолетовое окрашивание, указывающее на наличие пептидных связей в молекулу инсулина.

##### *Реакция Фоль*

К 8–10 каплям раствора инсулина прибавляют 10–12 капель 30 %-ного раствора гидроксида натрия и 1–2-капли 5 %-ного раствора ацетата свинца (II). При длительном нагревании появляется чёрный (или бурый) осадок.

### *Реакция Милона*

К 8–10 каплям раствора инсулина прибавляют 3–4 капли реактива Милона и осторожно нагревают. Жидкость окрашивается в красный цвет и выпадает красно-коричневый осадок.

### *Реакция Геллера*

К 10–12 каплям концентрированной азотной кислоты по стенке наклонённой пробирки прибавляют (не допуская смешивания жидкостей) раствор инсулина. На границе двух слоёв жидкости образуется осадок белка в виде кольца.

## **Опыт 2 Обнаружение йода в препарате щитовидной железы**

К половине таблетки тиреоидина (препарата, представляющего собой обезжиренную и высушенную щитовидную железу животных) прибавляют 10–12 капель концентрированной азотной кислоты. Для проведения гидролиза содержимое пробирки нагревают 1–2-мин (не допуская вспенивания). После этого в пробирку добавляют 8–10 капель 2 %-ного раствора йодата калия, который окисляет образовавшуюся при гидролизе йодистоводородную кислоту. После охлаждения содержимое пробирки разделяют на две части и открывают молекулярный йод по реакции с крахмалом (при добавлении 1–2 капель 1 %-ного раствора крахмала наблюдается синее окрашивание) или экстракцией йода хлороформом (при приливании 1 мл хлороформа, встряхивании и отстаивании хлороформный слой окрашивается в фиолетовый цвет).

## **Опыт 3 Качественные реакции на адреналин**

### *Окисление адреналина йодатом калия*

К 3–4 каплям раствора адреналина (1 : 1000) прибавляют 5–6 капель 2 %-ного раствора йодата калия и 10–12 капель 10 %-ного раствора уксусной кислоты. Жидкость слегка нагревают. Появляется красно-фиолетовое окрашивание.

### *Реакция с дихроматом калия*

Раствор адреналина (3–4 капли) смешивают с 1–2-каплями 2 %-ного раствора дихромата калия. Жидкость окрашивается в коричневый цвет.

#### *Проба с йодом*

10–12 капель раствора адреналина (1 : 1000) смешивают с 1 каплей 0,1 %-ного раствора йода. При нагревании появляется розовое или красное окрашивание.

#### *Диазореакция на адреналин*

К свежеприготовленному диазореактиву (3 капли 1 %-ного раствора сульфаниловой кислоты в 2 %-ном растворе соляной кислоты и 3 капли раствора нитрита натрия) прибавляют 5–6 капель раствора адреналина (1 : 1000) и 4–5 капель 10 %-ного раствора карбоната натрия. Жидкость окрашивается в красный цвет.

#### *Обнаружение группировки пирокатехина в молекуле адреналина*

К 8–10 каплям раствора адреналина (1 : 5000) прибавляют 1 каплю 1 %-ного раствора хлорида железа (III). Содержимое пробирки окрашивается в изумрудно-зелёный цвет. От прибавления 1 капли концентрированного раствора аммиака окраска переходит в вишнёво-красную (или коричневую).

### **Опыт 4 Качественные реакции на фолликулин**

#### *Диазореакция на фолликулин*

К 8–10 каплям спиртового раствора эстрогена прибавляют 5–6 капель 10 %-ного раствора карбоната натрия и 6–8 капель свежеприготовленного диазореактива (см. предыдущую работу). Постепенно появляется бледно-жёлтое окрашивание (вследствие образования азокрасителя).

#### *Реакция с концентрированной серной кислотой*

Пробирку с 15–16 каплями спиртового раствора фолликулина помещают в кипящую водяную баню на 5–6 мин для удаления спирта. К оставшемуся фолликулину прибавляют 20–25 капель концентрирован-

ной серной кислоты и вновь нагревают на водяной бане до появления жёлтого, а затем оранжевого окрашивания (имеющего зелёную флуоресценцию).

## Тест

1 Какова химическая природа гормонов?

- а) белки;
- б) углеводы;
- в) неорганические соединения;
- г) ферменты;
- д) стероиды.

2 Какие гормоны вырабатывает в кровь щитовидная железа?

- а) паратгормон;
- б) тироксин;
- в) инсулин;
- г) адреналин;
- д) альдостерон;
- е) трийодтиронин.

3 Какие гормоны вырабатывает мозговой слой надпочечников?

- а) альдостерон;
- б) соматотропин;
- в) адреналин;
- г) гидрокортизон;
- д) норадреналин;
- е) адренокортикотропный гормон;
- ж) кортикостерон.

4 Какие гормоны вырабатывают средняя и задняя доли гипофиза?

- а) окситоцин;

- б) соматотропин;
- в) тиреотропин;
- г) интермедиин;
- д) вазопрессин;
- е) адренокортикотропный гормон;
- ж) кортикостерон.

5 Недостаточность функции какой железы вызывает развитие заболевания, называемого диабетом?

- а) щитовидной железы;
- б) надпочечников;
- в) поджелудочной железы;
- г) паращитовидной железы;
- д) гипофиза;
- е) половых желез.

6 Действие каких гормонов является взаимодополняющим?

- а) паратгормон;
- б) тироксин;
- в) инсулин;
- г) адреналин;
- д) альдостерон;
- е) трийодтиронин.

7 Какой из гормонов называют гормоном роста?

- а) соматотропин;
- б) тироксин;
- в) инсулин;
- г) адреналин;
- д) альдостерон;
- е) глюкогон;
- ж) липокаин.

8 Какие из перечисленных особенностей можно отнести к характеристикам гормонов?

- а) обладают низкой биологической активностью;
- б) обладают высокой биологической активностью;
- в) включаются в структуры тканей организма человека и животных;
- г) не включаются в структуры тканей организма человека и животных;
- д) недолговечны;
- е) накапливаются в органах и тканях и мобилизуются из них по мере необходимости;
- ж) организму необходима постоянная их секреция.

9 Какой гормон вырабатывает паращитовидная железа?

- а) тироксин;
- б) инсулин;
- в) паратгормон;
- г) адреналин;
- д) альдостерон;
- е) гидрокортизон.

10 Какие гормоны вырабатывает кора надпочечников?

- а) альдостерон;
- б) соматотропин;
- в) адреналин;
- г) гидрокортизон;
- д) норадреналин;
- е) адренокортикотропный гормон;
- ж) кортикостерон.

11 Какие из гормонов являются женскими половыми гормонами?

- а) андростерон;
- б) эстриол;



- в) дегидроандростерон;
- г) интермедии;
- д) эстрадиол;
- е) тестостерон;
- ж) эстрон.

12 Недостаточность функции какой железы вызывает развитие заболевания, называемого кретинизмом?

- а) щитовидной железы;
- б) надпочечников;
- в) поджелудочной железы;
- г) паращитовидной железы;
- д) гипофиза;
- е) половых желез.

13 Какие гормоны вырабатывает поджелудочная железа?

- а) паратгормон;
- б) тироксин;
- в) инсулин;
- г) адреналин;
- д) альдостерон;
- е) глюкагон;
- ж) липокаин.

14 Какие гормоны вырабатывает передняя доля гипофиза?

- а) альдостерон;
- б) соматотропин;
- в) тиреотропин;
- г) гидрокортизон;
- д) вазопрессин;
- е) адренокортикотропный гормон;
- ж) кортикостерон.

15 Какие из гормонов являются мужскими половыми гормонами?

- а) андростерон;
- б) соматотропин;
- в) дегидроандростерон;
- г) интермедиин;
- д) эстрадиол;
- е) тестостерон;
- ж) кортикостерон;
- и) липокаин.

## Литература

1 Проскурина, И. К. Биохимия [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. К. Проскурина. – М. : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 240 с.

2 Биологическая химия [Текст] : учебник / Т. Т. Березов [и др.]. – М. : Медицина, 1998. – 704 с.

3 Основы биохимии [Текст] : учебник : в 3 т. / А. Уайт [и др.]. – М. : Мир, 1981.

Т. 1 – Мир, 1981. – 534 с.

Т. 2 – Мир, 1981. – 617 с.

Т. 3 – Мир, 1981.—726 с.

4 Белясова, Н. А. Биохимия и молекулярная биология [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. А. Белясова. – Мн. : Книжный Дом, 2004. – 416 с.

## **Учебное издание**

Беляева Людмила Александровна

Корытко Ольга Викторовна

## **БИОХИМИЯ**

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

*для студентов I курса*

*специальности 1-03 02 01 – «Физическая культура»*

### **В 2 ЧАСТЯХ**

#### **ЧАСТЬ 1**

Редактор В.И. Шкредова

Корректор В.В. Калугина

Лицензия № 02330/0133208 от 30.04.04.

Подписано в печать 22.02.08. Формат 60х84 1/16. Бумага писчая  
№1. Гарнитура «Таймс». Усл.печ.л. 7,67. Уч.-изд. л. 8,25.

Тираж 70 экз. Заказ № 67.

Отпечатано с оригинала-макета на ризографе  
учреждения образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

Лицензия №02330/0056611 от 16.02.04.  
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104